

## La Acústica de los Teatros Griegos

Rubén G. Cárdenas\*

Desde que el primer homínido caminó por las planicies, tuvo que La acústica en recintos abiertos o cerrados es un excelente ejemplo de cómo la ciencia, la técnica y el arte se mezclan con un objetivo común. Por un lado podemos considerar el comportamiento del sonido en el espacio, ajeno al hombre y sus actividades. Por el otro, podemos tomar en cuenta al hombre y su incesante necesidad de *crear* y de *comunicar*.

Para poder manipular el sonido en estos espacioses necesario, entre otras cosas, tener un sólido conocimiento de los fundamentos físicos que describen al sonido y al espacio, y cómo influye la geometría y las propiedades estructurales de los recintos en la propagación sonora. También, evidentemente, se debe saber cuál es la función que queremos darle al sonido una vez generado. La acústica no es sino el estudio del sonido y su interacción con el espacio y el ser humano.

Las propiedades del sonido y su relación con el espacio se conocen desde los tiempos clásicos. Para mediados del siglo V a.C., la mayoría de las presentaciones teatrales en Grecia se llevaban a cabo en un edificio de escena? llamado *skené*, lo cual significa ?cabaña?, ?choza? o ?carpa?. El *skené* estaba pensado como una estructura temporal para presentar uno de los muchos festivales que se realizaban cada año; eventualmente se convirtió en una parte permanente de la instalación del escenario. Los actores actuaban en frente del *skené*, el que funcionaba como escenografía genérica para cualquier obra. Esta área conectaba directamente con la *orquesta* (orchestra), la que en esos tiempos era el área principal donde se hacían las presentaciones.

En la siguiente figura se muestran las diferentes partes de un teatro griego, algunas de las cuales se conservan en los teatros actuales como el escenario, el proscenio, el coro, la orquesta y la zona de tramoya ?

# La Naturaleza de la Materia

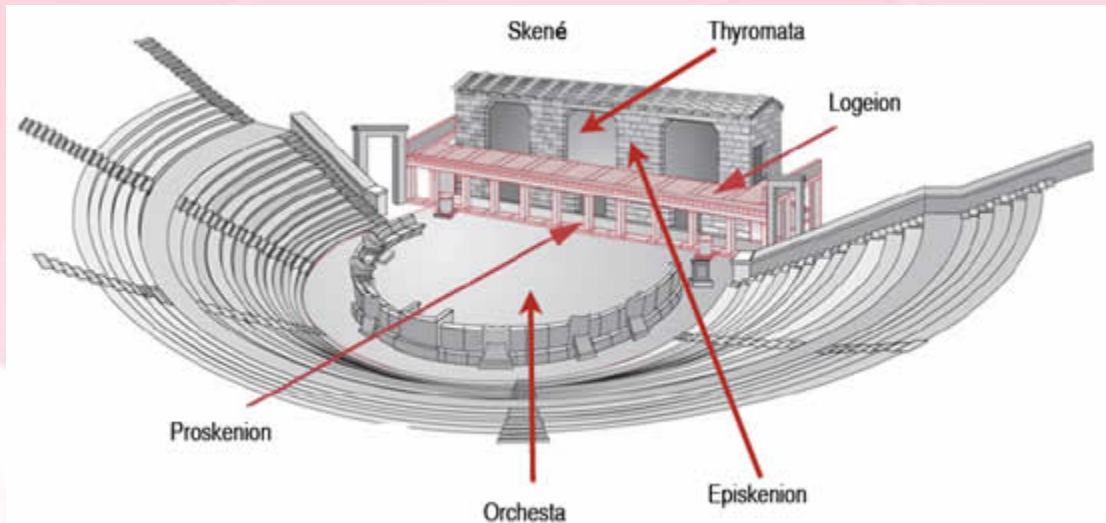


Figura 1.

Se sabe, por los relatos del astrónomo Ptolomeo (130 d. C), que los primeros estudios realizados sobre el sonido fueron hechos por Pitágoras (570-497 a.C.) y que posteriormente la acústica de los teatros siguió desarrollándose en los teatros romanos. La primera referencia escrita sobre la acústica de los recintos pertenece al arquitecto romano Vitrubio que esboza ya las características acústicas de recintos, del fenómeno del sonido y su interacción con el espacio. Sabemos que los actores utilizaban máscaras (entre otras cosas) para representar el gesto facial aumentado y para amplificar la voz. Por ejemplo, Vitrubio sugiere incorporar en algunos sitios de la zona del público ollas que incrementarían la resonancia y así mejorar la acústica del lugar.

Desde los tiempos clásicos, se conocía ya un fenómeno sumamente importante en el campo de la acústica: el refuerzo del sonido consigo mismo a través de las reflexiones con obstáculos. Cuando el sonido es generado en un local cerrado, el sonido (que se propaga de manera mecánica a través de las moléculas de los elementos del aire interactúa (choca) con las paredes del recinto y rebota (se refleja) después, hasta que desaparece la onda original. Este fenómeno se conoce como reverberación y se produce por las reflexiones del sonido que escuchamos antes de que se extinga el sonido original; el *tiempo de reverberación* es el tiempo que tarda un sonido en un espacio cerrado en volverse inaudible para los humanos. Este tiempo depende del volumen del recinto, de tal manera que si el volumen es grande, el tiempo de reverberación es más grande y viceversa. Para una sala de

# La Naturaleza de la Materia

conciertos actuales de 10 000m<sup>3</sup> el tiempo de reverberación es de 1.2 segundos.

La reverberación está íntimamente relacionada con las propiedades de los materiales para absorber y reflejar la energía sonora.

Cuando el sonido incide sobre una superficie suceden básicamente dos cosas: una fracción de la energía se refleja y otra se absorbe, la energía resultante de estos dos fenómenos es la energía que contribuye a generar el sonido reverberante.

Una onda sonora se refleja cuando se encuentra con un obstáculo que no puede traspasar ni rodear. El tamaño del obstáculo y el tamaño de la onda (la longitud de onda) determinan si una onda rodea el obstáculo o se refleja en la dirección de la que provenía. Si el obstáculo es pequeño en relación con la longitud de onda, el sonido lo rodeará (fenómeno que se conoce como difracción), en cambio, si sucede lo contrario, el sonido se refleja (reflexión).

Se entiende por absorción al fenómeno físico mediante el cual la energía sonora es transformada parcialmente en otro tipo de energía. Por ejemplo, cuando un sonido golpea a un material causa que las fibras o las moléculas que lo constituyen comiencen a vibrar. Esta vibración causa pequeñas cantidades de calor debido a fricción entre moléculas de tal modo que la absorción se da al disiparse la energía sonora incidente y transformarse en calor.

Dependiendo de la estructura molecular de cada material, será su capacidad para absorber sonido. Mientras más moléculas existan por unidad de área, será necesaria más energía sonora para desplazarlas de su posición de equilibrio al hacerlas vibrar y mayor será la fricción intra molecular debido a que las moléculas estarán más juntas; el resultado es una mayor absorción sonora. De este modo el concreto, por ejemplo, tiene una buena capacidad de absorber el sonido, mientras que el ladrillo, que es más poroso, tiene una capacidad mucho menor.

# La Naturaleza de la Materia

Si un recinto tiene la capacidad de reflejar mas energía de la que absorbe, entonces la reverberación aumenta debido a que a partir de cada reflexión, se forma una nueva onda sonora (definitivamente menos energética, con menos volumen o intensidad) que choca con otro obstáculo y genera una nueva onda sonora a su vez, generando una energía sonora total resultado de la contribución de cada onda creada. Este *bailoteo* de ondas genera que el nivel sonoro, el volumen, aumente.

El problema al que se enfrentaron los griegos, en primer lugar, fue el de diseñar un espacio en el que todos los asistentes percibieran la voz del actor lo mejor posible desde cualquier lugar. Los primeros teatros fueron construidos, para fines prácticos al aire libre. En estas condiciones el sonido no se refuerza por *reflexiones*, es decir, el único sonido que llega a los asistentes es el *sonido directo*, que es el sonido emitido por la fuente sonora sin experimentar ninguna desviación debido a un obstáculo.

Un análisis de esta situación revela que al doblar la distancia del escucha a la fuente, el volumen del sonido decae 6 decibeles (ver ?Sensaciones Psicoacústicas, decibeles?). ¿Qué quiere decir esto? Significa que aún con máximo silencio, lo más lejos que puede escucharse una voz humana es aproximadamente 42 metros en caso de que quien escuche esté frente a la fuente de la voz, y (introduciendo un poco de geometría y direccionalidad de la voz humana) de 30 metros si estamos a 90°, y de 17 metros si estamos detrás del orador. Claramente entre el lateral y el frontal tenemos los valores intermedios; a distancias mayores el nivel de distorsión de la voz hace que sea ininteligible.

Si bien la mayoría de los teatros griegos no gozaban de la mejor acústica, existen ejemplos que muestran cómo aprendieron a usar las primeras reflexiones. En la pequeña ciudad griega de Epidauró (perteneciente a la prefectura griega Argólida, una península al noreste del Peloponeso), se encuentra el famoso Teatro Epidauró, en éste, usado hasta hoy para representar tragedias, el asiento más alejado se

# La Naturaleza de la Materia

encuentra a 70 metros del escenario; no obstante, la calidad de sonido es excelente. ¿Cómo es esto posible? En primer lugar el teatro se encuentra construido en una zona donde el ruido del ambiente es sumamente bajo, por lo que no opaca la voz del actor. Además este teatro incluye un nuevo elemento, sumamente importante, que es una explanada ubicada entre el escenario y los asientos (hoy llamada orquesta y con materiales altamente reflejantes del sonido). La voz de los actores llega entonces de manera directa, pero también llega después de ser reflejada sobre el plano de la orquesta. La diferencia entre el sonido directo y el reflejado es en este caso de 50 milisegundos, lo que produce un refuerzo del sonido directo y un mejor nivel sonoro sin perder claridad.

Describamos un poco más lo que está ocurriendo. La primera reflexión del sonido ocasiona cierta pérdida de energía pero dobla la energía acústica debido a que la primer onda incidente se refleja y se superpone<sup>(1)</sup> con las ondas que vienen detrás de ellas (el sonido directo) produciendo un incremento de 3dB en el nivel de volumen. Esto produce un incremento de la distancia límite de escucha (que habíamos fijado en 42 metros), permitiendo que ésta sea de 1.4 veces la original, es decir,  $1.4 \times 40$  que es del orden de 60 metros. Claro, hay que agregar la reflexión en el skené, y el uso de las máscaras para amplificar la voz, con lo que tener un asiento a 70 metros del escenario no resulta inconcebible. Si observamos la siguiente figura, notamos como el skené, las gradas y la orquesta permiten reforzar el sonido directo con reflexiones.

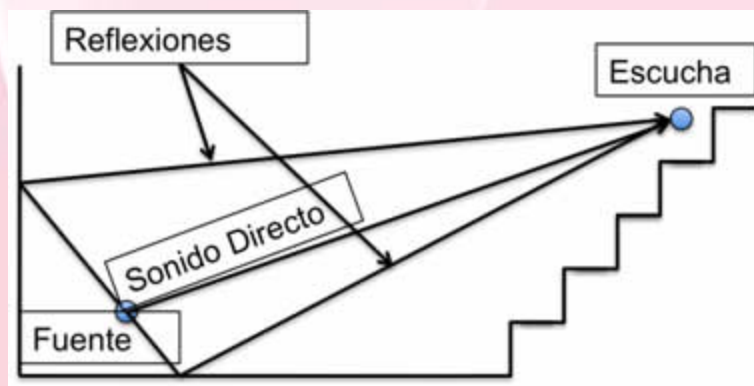


Figura 2.

# La Naturaleza de la Materia

Otras características de los teatros griegos son las gradas, (que abarcaban aproximadamente  $200^\circ$  de la vista alrededor de un observador parado en el escenario) debido a que las cualidades acústicas discutidas se favorecen por la pendiente que presentan las gradas en los teatros griegos. Específicamente en el Epidauro, las pendientes de las gradas de los dos niveles, inferior y superior, son de  $26.2^\circ$  y  $26.5^\circ$  respectivamente. Y dado que el escenario es bajo de altura (elevado alrededor de 3 metros) el ángulo de las gradas y las reflexiones en el plano de la orquesta es siempre mayor a  $5^\circ$  favoreciendo la dirección de la audiencia.

Con el uso de las reflexiones los griegos llegaron a crear espacios que podían albergar hasta 15000 espectadores y representar con perfecta claridad todo tipo de diálogos. Un ejemplo de esto lo encontramos en el mencionado Epidauro, se muestran algunas imágenes del mismo.



# La Naturaleza de la Materia



Figura 3.

# La Naturaleza de la Materia

<sup>1</sup>La superposición de ondas consiste en la generación de un nuevo patrón de vibración (una nueva onda) a partir de dos o más ondas que viajen en la misma o distinta dirección al cruzarse en una misma región del espacio.

---

\* Físico, estudiante de doctorado,  
Ciencias de la Atmósfera, UNAM  
tupac\_amaru99arrobayahoo.com

## Referencias

\*Egan M. David. *Architectural Acoustics*. McGraw-Hill, 1988.

\*Vendrell, Sancho F., Jaime Galiana y Ana Reyna. *Acústica Arquitectónica y Urbanística*. México: Limusa, 1999.

\*Ionazzi, Daniel A. *The Stagecraft Handbook*. Cincinnati, OH: Betterway Books, 1996.

Imagen del icono tomada de:

[http://www.inmobiliario.do/arquitectura/arquitectura\\_acustica\\_griegos.html](http://www.inmobiliario.do/arquitectura/arquitectura_acustica_griegos.html)