

La pregunta del millón

¿Cuánta potencia?

Federico Miyara

La pregunta

Una pregunta frecuente al proyectar una instalación electroacústica, por ejemplo el refuerzo sonoro de una sala de conferencias, de un microcine o de un *home theater*, es cuánta potencia hace falta para obtener resultados satisfactorios. La respuesta no es ni evidente ni única, ya que, entre otras cosas, depende mucho de qué entendamos por un resultado satisfactorio. Así, si el objetivo fuera competir por el primer premio en una de esas demenciales competiciones de la International Auto Sound Challenge Association (IASCA), cuya finalidad es generar el sonido más fuerte posible a bordo de un vehículo de cuatro ruedas, probablemente se requerirían alrededor de 50 kW dentro de una cabina reforzada, pues se trata de superar un récord mundial que ya trepa por encima de los 170 dB.¹ Muy diferente sería el caso en el que se requiriera una excelente inteligibilidad de la palabra o de la música en un auditorio escolar.

Una gran potencia no compensa una mala acústica

Antes de considerar siquiera la cantidad de potencia, un buen proyectista debe haber trabajado sobre la acústica del ambiente, materia de difícil abordaje que será objeto de una nota futura. Supondremos, por lo tanto, que esta cuestión está resuelta, es decir que el sonido es suficientemente difuso en todas las frecuencias y no hay reflexiones sonoras prominentes, particularmente aquéllas que provocan ecos audibles.

Nivel de presión sonora requerido

Bajo estas condiciones, la primera pregunta a formularse es cuál es el nivel de presión sonora requerido, pregunta cuya respuesta puede depender del rango de frecuencia, especialmente si el sistema es bi-, tri- o multiamplificado.² Debido a la tendencia cada vez más generalizada a las megapotencias (como lo ilustra el paradigmático ejemplo de la IASCA), es necesario advertir que aun cuando la mayoría de las personas puede acostumbrarse a sonoridades muy altas (especialmente luego de superado el impacto inicial), por varias razones la exageración no es deseable.

La primera es que por encima de los 90 dB el propio oído comienza a distorsionar apreciablemente, apareciendo los denominados armónicos aurales, y, más generalmente, los productos de distorsión (distorsión por intermodulación), por lo cual la calidad del sonido percibido decae.

La segunda, no menos importante, es el alto riesgo de daño auditivo que acarrea la exposición prolongada a sonidos intensos. La evidencia científica señala que el efecto es acumulativo. Aunque trataremos este importante tema más adelante, como orientación

pueden tomarse las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.³ Los valores guía establecidos por dicho organismo son de 85 dBA para una exposición diaria de una hora, ó 100 dBA para no más de 4 sesiones de 4 horas por año.⁴ Los valores indicados surgen de estudios realizados en 1974 en Estados Unidos, y prevén la protección de virtualmente toda la población, aún las personas más susceptibles. Podemos aumentar en unos 5 dBA estas cifras si estamos dispuestos a admitir, para ellos, algún riesgo.

La tercera razón es de orden humano: el respeto y la consideración por los grupos minoritarios, y el mejoramiento de las cuestiones de accesibilidad para sus integrantes. Nos estamos refiriendo específicamente a las personas *hipoacúsicas*. La mayoría de las hipoacusias no sólo implican un aumento del umbral auditivo (el mínimo nivel de presión sonora audible) sino que también involucran una reducción del umbral de dolor. Mientras las personas con audición normal tienen el límite de dolor en los 120 dB, los hipoacúsicos pueden tenerlo en 100 dB o aún 90 dB. Obligar a esas personas a permanecer en un ambiente con 110 dB es equivalente a una tortura física. La persona se retirará del lugar, sintiéndose excluida de la diversión y el esparcimiento.

Tomando en consideración los criterios anteriores, yo, en lo personal, no recomendaría un sistema capaz de entregar más de 100 dB en forma continuada. Además diferenciaría tres grandes rubros, en orden decreciente de nivel sonoro: 1) los auditorios, salas de concierto y locales bailables (100 dB), 2) las aulas y salas de conferencia (90 dB), y 3) los ambientes con amenización musical en los que la actividad principal no es la música, por ejemplo bares y restaurantes (80 dB).

Conceptos básicos

Conviene ahora introducir someramente algunos conceptos básicos de Acústica. Al aire libre, una fuente de potencia acústica W_a (en watt) produce a una distancia d (en metros) una presión cuadrática (en pascuales al cuadrado) dada por

$$P^2 = 407 \cdot W_a \frac{Q}{4\pi d^2} \quad (1)$$

donde Q es el factor de directividad del parlante, que indica cuánto sonido emite el parlante en una dirección determinada (en general sobre su eje) con respecto a si la emisión fuera omnidireccional. Un parlante de graves, por ejemplo, es casi omnidireccional, y entonces $Q = 1$, pero el típico *driver* acoplado a bocina para los agudos es bastante direccional, y entonces, si ϕ es el ángulo de cobertura horizontal y ψ el vertical (ambos expresados en grados), entonces Q se puede aproximar en general por

$$Q \cong \frac{30000}{\phi \cdot \psi} \quad (2)$$

Así, si $\phi = 90^\circ$ y $\psi = 40^\circ$, resulta $Q \cong 8$ sobre el eje de la bocina. Fuera del eje Q se va reduciendo hasta la cuarta parte de su valor en los límites de la cobertura.

Si ahora ubicamos la fuente en un ambiente cerrado, aparece un nuevo fenómeno: la *reflexión del sonido* en las superficies (paredes, techo, piso). La reflexión nunca es total, ya que una fracción α de la energía sonora que llega a una superficie es absorbida. A α se le llama *coeficiente de absorción sonora*.

Resulta entonces que a cada punto de dicho ambiente llegará no sólo el sonido directo, sino la suma de todas las reflexiones sobre las superficies internas del ambiente. La energía acústica se empieza a acumular a medida que nuevas ondas se van agregando a las viejas. Lo único que impide que la energía se acumule hasta el infinito es que cuanto más energía sonora hay, más energía es absorbida por las superficies. El equilibrio se alcanza cuando la energía absorbida llega a igualar a la energía entregada. En ese caso se cumple

$$P^2 = 407 \cdot W_a \left(\frac{Q}{4\pi d^2} + 4 \frac{1-\alpha}{\alpha S} \right), \quad (3)$$

donde S es el área total de las superficies interiores. La componente agregada con respecto a la ecuación 2 contempla el efecto de todas las reflexiones y se denomina campo reverberante. Cuanto menor sea α , mayor será el campo reverberante.

La última relación que necesitaremos es la que permite obtener el nivel de presión sonora a partir de la presión cuadrática:

$$L_p = 10 \log \frac{P^2}{P_{ref}^2}, \quad (4)$$

donde P_{ref} es la presión de referencia adoptada internacionalmente (20 μ Pa).

Potencia eléctrica y potencia acústica

Llegamos aquí a un punto crucial. ¿Qué relación hay entre la potencia *eléctrica* entregada al parlante por el amplificador y la potencia *acústica* realmente producida? Depende del tipo de parlante y de la forma en que se acople al ambiente (baffle ventilado, bocina exponencial, etc.). Para un parlante común, la fracción de la potencia total que realmente se convierte en sonido es muy pequeña (del orden de un 2 a 3 %). Para una bocina, suele ser de un 10 a 15%. Esto es porque los parlantes son transductores energéticamente muy ineficientes (desperdician mucha energía en forma de calor).

Los fabricantes ofrecen un parámetro del parlante denominado *sensibilidad*. Se define como el nivel de presión sonora $L_p(d_o, W_o)$ que es capaz de producir con una potencia *eléctrica* $W_o = 1$ W de y a una distancia $d_o = 1$ m del centro del parlante. Con este parámetro y las ecuaciones anteriores es posible llegar a la siguiente ecuación fundamental:

$$L_p(d, W_e) = L_p(d_o, W_o) + 10 \log \frac{W_e}{W_o} + 10 \log \left(\frac{d_o^2}{d^2} + 16\pi d_o^2 \frac{1-\alpha}{\alpha S} \right) \quad (5)$$

Esta ecuación permite calcular el nivel de presión sonora a una distancia d cualquiera cuando se alimenta el parlante con una potencia eléctrica W_e .

Veamos un ejemplo. Supongamos que la sensibilidad de un parlante de graves es 92 dB y que el mismo está ubicado en un ambiente de 10 m \times 8 m \times 4 m cuyo coeficiente de absorción es de 0,15. Si se lo alimenta con 150 W, el nivel de presión sonora a 5 m de distancia será:

$$L_p(d, We) = 92 + 10 \log \frac{150}{1} + 10 \log \left(\frac{1^2}{5^2} + 16\pi \cdot 1^2 \frac{1-0,15}{0,15 \cdot 304} \right) = 114 \text{ dB}$$

De la ecuación 5 es posible, a la inversa, calcular la potencia eléctrica necesaria para obtener un determinado nivel de presión sonora.

$$We = W_o 10^{\frac{L_p(d, We) - L_p(d_o, W_o)}{10}} \left(\frac{d_o^2}{d^2} + 16\pi d_o^2 \frac{1-\alpha}{\alpha S} \right). \quad (6)$$

Si bien la fórmula puede parecer compleja, puede calcularse con una simple calculadora científica.

A modo de ejemplo, calculemos la potencia a aplicar en la sala anterior para tener un nivel de presión sonora de 100 dB:

$$We = 1 \cdot 10^{\frac{100 - 92}{10}} \left(\frac{1^2}{5^2} + 16\pi \cdot 1^2 \frac{1-0,15}{0,15 \cdot 304} \right) = 6 \text{ W}.$$

Admitiendo un incremento de 5 dB, pasaríamos a una potencia de alrededor de 20 W. Este ejemplo muestra claramente que para obtener niveles de presión sonora inclusive muy altos, hace falta en general mucho menos potencia que la que habitualmente se emplea.

Comentarios finales

Aunque la potencia requerida sea baja, siempre es posible mejorar la linealidad del sistema aumentando la potencia nominal de los amplificadores y parlantes, a condición de que se utilicen muy por debajo del valor máximo. Por ejemplo, podría emplearse un amplificador de 100 W, pero debería usárselo de tal forma de no entregar más de 20 W.

Un punto débil del procedimiento anterior es que en general no se dispone del valor de α . Por otra parte, el mismo varía habitualmente bastante con la presencia de personas. Existen tablas que permiten estimar α para diferentes materiales de construcción y decoración.⁵ Otra posibilidad es obtenerlo indirectamente por medición del tiempo de reverberación T_{60} o del tiempo T_{20} .⁶ Éste último, igual a un tercio del tiempo de reverberación, puede estimarse haciendo explotar un globo y grabando la evolución de la presión sonora. El ensayo debe hacerse en las condiciones reales de utilización de la sala, por ejemplo con un 75% de ocupación. Luego se determina, mediante un software editor de sonido, el tiempo que demora el sonido residual en bajar desde el 50% al 5% del valor máximo. Dicho valor corresponde a T_{20} . Conviene repetir el ensayo varias veces, cambiando las posiciones del globo y el micrófono, y luego promediar los valores obtenidos. Una vez medido T_{20} , se determina α por medio de la fórmula

$$\alpha = 0,054 \frac{V}{T_{20} S} \quad (7)$$

(Enviado a Tecnopolitan, 17 de mayo de 2001, publicado en el número de Julio-Agosto de 2001).

-
- ¹ Jack Boulware, "Feel the Noise". Revista Wired. Octubre de 1999.
 - ² Un sistema multiamplificado separa la señal de línea en varias bandas mediante un divisor de frecuencias (crossover), cada una de las cuales es amplificada por separado y enviada a sus correspondientes altavoces (graves, medios, agudos)
 - ³ Birgitta Berglund, Thomas Lindvall y Dietrich H. Schwela, "Guidelines for Community Noise" (disponible en Internet en <http://www.who.int/peh/noise/noiseindex.html>)
 - ⁴ Los decibeles A (dBA) se obtienen aplicando, antes de la medición propiamente dicha, un filtro que quita gran parte de los graves y algo de los agudos, para reflejar el comportamiento de la audición humana, que es menos sensible a los graves y a los muy agudos que a los medios.
 - ⁵ Federico Miyara, "Acústica y Sistemas de Sonido". Editorial UNR Editora. Rosario, 1999.
 - ⁶ Es más fácil medir T_{20} que T_{60} debido a que la medición directa de T_{60} requiere niveles de ruido ambiente extremadamente bajos.