PAVEL = T. PAVEL, *Une question terminologique: le pair «langue» - «langage»*, en *Revue Roumaine de Linguistique*, XII-5, 1967, 443-452.

SAUSSURE = F. DE SAUSSURE, *Curso de lingüística general*, Buenos Aires, Losada, 1949.

SIMON = JOSEF SIMON, *Aspectos y problemas de la filosofía del lenguaje*, Buenos Aires, Alfa, 1977.

SLAMA-CAZACU, T., *Environmental Factors and Child's Language Learning*, en *Homenaje a Juan M. Lope Blanch*, I, México, 1992, 127-142.

FORMULACIÓN ALGEBRAICA PARA CALCULAR LA INTENSIDAD SONORA ACUMULADA

BREVÍSIMAS GENERALIDADES SOBRE LA INTENSIDAD SONORA

La intensidad, uno de los componentes más complejos del sonido, llámese éste voz humana, voz instrumental, ruido, estrépito o perturbación molecular del aire, por su mala administración, constituye, gravosamente, el enemigo poluble más agresivo a la salud general de las personas, con implicaciones no solo auditivas sino de variada y múltiple índole.

Colombia, donde exiten códigos, leyes, disposiciones, normas jurídicas, decretos, etc., para proteger los derechos ciudadanos, pero que o no se conocen en esencia y/o se cumplen menos, es uno de los paises con los índices más altos de polución ambiental sonora y con alto descuido de protección acústica en la seguridad industrial.

A ello se agrega el desconocimiento indolente de las gentes, quienes negligentemente exponen su oído, sus ojos, su olfato, a confrontaciones perjudiciales y los mantienen en largas exposiciones, ignorando el sabio principio, viejamente conocido y explicado por RADAU [1] (página 65), de que todo tipo de partícula o molécula sonora, lumínica, odorífera o calorífica va debilitando su transmisión y su poder a medida que se alejan de su origen y, como tal, van perdiendo potencia y acción en relación directa con el aumento de distancia entre ellos y la fuente. Lo mismo ocurre con la acción eléctrica y la atracción gravital. Esto es una advertencia que

[1] R. RADAU, *La acústica*, París, Hachette, 1875.

THESAURUS. Tomo LIII. Núm. 3 (1998). Álvaro CALDERÓN RIVERA. Formulación ...
Centro Virtual Cervantes

atañe a la protección de oídos, ojos, nariz, piel, etc., a fin de alejarse o, por lo menos, mantenerse a prudente distancia de las acciones agresivas del sonido, la luz, el calor, etc.

De por sí, el oído humano es más adicto al silencio que al estrépito y por ello hay que complacerlo. En la medida en que la intensidad de fuente aumenta, los escuchas, por el correlato acústico que corresponde al estímulo, denominado percepción, se colocan en un plano defensivo frente al incremento de la potencia acústica. Las largas jornadas laborales en sitios ruidosos, propicias para la fatiga acústica exigen también, inherentemente, largos espacios de recuperación de un mínimo de 16 hasta 48 horas, terapia que olvidamos, ignoramos e inobservamos olímpica y deportivamente. De ahí, las respuestas o reacciones acúfenas (ruidos, zumbidos) en el interior del oído, que ameritan, de igual forma, terapias con música ambiental para una recuperación automática.

Solo los salvajes, de quienes se ha dicho que su apelativo les viene bien, por la serie de hechos poco razonables que ejecutan cotidianamente, gustan de hacer el mayor ruido que pueden con los más estrepitosos instrumentos, en sus fiestas, jolgorios, ceremonias tribales o guerreras, bodas, ceremonias fúnebres, rituales, etc., modalidades y costumbres que modifican y ennoblecen un poco al contacto con nuevas formas de cultura musical incipiente, en un proceso de refinamiento que se registra en todos los pueblos y a todos los niveles de culturización.

Debido a estudios realizados con estadísticas efectivas y a la vez desalentadoras, el exceso de ruido atenta penosamente contra una gran parte de nuestro organismo, causando nocivos efectos de acción irreversible y en la forma más silenciosa pero agresiva: el ruido desmesurado es factor estresante, causa vértigo, hipertensión arterial, arteriosclerosis, secreciones gástricas de alta acidez, artritis, lesiones en el miocardio, mareos, infertilidad, sordera, inapetencia sexual, insomnios, gastralgias, úlceras, enfermedades mentales como la locura, esquizofrenia y otras.

Por ello, en nuestro medio, que es campo propicio para estas graves exposiciones con cargo a severas lesiones de nuestro aparato receptor, conviene insistir en una educación y cultura equivalentes o contrarrestantes. Diez minutos diarios de música ambiental, agradable y formativa, son un sedante, un oxigenante.

Hay que aspirar pues, a tener las orejas del Rey Midas, como dice la leyenda, de quien se comenta que tuvo aparentemente gran poder auditivo en el concurso musical, entre Apolo, el de armoniosos acordes y el flautista Pan, y que además estaba bien informado de todo lo que se decía en Frigia, su reino; gracias, según parece al numeroso ejército de espías. Naturalmente ésta es metáfora mitológica; todo para aspirar a tener el oído, por lo

THESAURUS. Tomo LIII. Núm. 3 (1998). Álvaro CALDERÓN RIVERA. Formulación ...
Centro Virtual Cervantes

menos, medianamente sano. De ahí que por todos los medios posibles y con todas las ayudas que sea menester, es de altísima conveniencia el cuidado extremado de nuestro oído. Sus lesiones son las más difíciles de tratar y casi imposibles de superar.

Probado está que en los países cuya cultura musical es todo un patrimonio (Austria, Suiza, Francia, Polonia, Italia, Rusia), según investigaciones y estadísticas, la educación musical precoz para los niños a partir de los 3 años los hace altamente disponibles para las tareas académicas, aprehensión lingüística más veloz y desarrollo de habilidades cognoscitivas, más o menos en la misma forma que las prácticas de ajedrez.

Y ¿QUÉ ES LA INTENSIDAD SONORA?: ALGUNOS DATOS SOBRE SU NATURALEZA

Tiene su complejidad el entendimiento eficaz del fenómeno sonoro; no sólo la constitución del timbre como elemento sutil, versátil y esquivo, sino también la intensidad y la frecuencia que van de la mano, lo son. La intensidad sonora tiene su origen en la cantidad de energía transmitida por una fuente a través de las partículas, ya sean neumáticas acuosas, oleaginosas o sólidas, pues a través de todos los cuerpos se expande la onda acústica. Esa intensidad está determinada en la voz humana por la fuerza espiratoria que implementa, como toda fuerza expansiva, las características de amplitud o elongación en la onda acústica. Mientras menos denso sea el cuerpo, más dificultosa es la transmisión sonora y si el aire es húmedo y pesado, es él, mejor conductor del sonido. Así también, la transmisión vertical ascendente es más favorable que la descendente.

La variación o modalidad del medio (RADAU , *op. cit.*, pág. 59) tanto gaseosa como hidráulica (oxígeno, hidrógeno, aire, agua, aceite, alcohol), así como la densidad de los cuerpos conductores, definen el tipo de conducción sonora.

Muchos estudiosos (ver RADAU, *op. cit.*, cap. IV, *Intensidad de los sonidos*, pág. 57) se interesaron vivamente desde siglos atrás por el fenómeno de la intensidad. Merecen destacarse los aportes de Saussure con sus experiencias realizadas en sitios de altura, así como en sitios llanos o bajos, y los de Humboldt, quien mostró con evidencias que en los momentos de enfriamiento atmosférico (incluyendo la noche) está favorecida la transmisión sonora, dificultosa en días o momentos calurosos cuando el recalentamiento solar y la refracción terráquea hacen el aire menos denso y más volátil (RADAU) y el sonido cuenta así con más dificultades para su expansión.

THESAURUS. Tomo LIII. Núm. 3 (1998). Álvaro CALDERÓN RIVERA. Formulación ...
Centro Virtual Cervantes

De todas maneras, el oído humano está presto a registrar desde muy leves estímulos hasta los más contundentes, aquellos que destruyen y perforan el tímpano, causándole, desde la pérdida de recepción o disminución en 20 o más dB, hasta la sordera total.

El oído humano se impresiona sí, un poco más con sonidos agudos que con graves, y si bien nuestro sistema aural es estéreo, las gentes oyen más por un conducto que por su homólogo. Los americanos han llamado *loudness* a esa capacidad de recepción, clasificación y apreciación del estímulo, término correspondiente o correlato de lo que comúnmente denominamos intensidad (*intensity*) o energía sonora, la cual va a manifestarse como estímulo de presión sobre los cuerpos aledaños y que en comienzo se mide o estima en watios de potencia. Su interpretación a nivel sonoro se hace en dB, estimados éstos como la presión que hace el aire sobre 1 cm^2 a partir de un ruido o sonido de 1000 herzios por segundo, al nivel del mar y a una temperatura de 4ºC. Estas impresiones acústicas se presentan en forma o en magnitud física de decibeles o decibelios (dB), operación o presión que aumenta en proporción logarítmica, no aritmética, de 3 dB sobre la intensidad básica inicial cada vez que se duplica el volumen. Esa capacidad de resistencia al estímulo tiene sus umbrales de trabajo y de resistencia: de 0 a 14, límite de iniciación audible y aproximadamente 140 dB como frontera, a partir de la cual los ruidos, sonidos y estrépitos comienzan a causar estragos en la estructura auditiva.

Todo este trabajo de recepción es lo que ha posibilitado a los físicos, fonetistas, acusticistas, otólogos y otorrinos entenderse muy bien bajo una nomenclatura idónea de términos como fuerte, débil, ruidoso, estridente, mate, estentóreo, etc.

INTERPRETACIÓN MATEMÁTICA DE LA INTENSIDAD ACUMULADA

La tradición histórica de las voces formidables que reposa en las páginas de *La Iliada*, han hecho que se tomen estos eventos como referencia para análisis modernos de intensidad acumulada: "Estentor tenía una voz tan poderosa como de 50 hombres juntos", refiere el genial Homero. "El feroz Ares prorrumpió en un grito tan fuerte como el clamor de diez mil guerreros en refriega, que espantó a acalenos y troyanos", ante su muerte a manos de Palas Atenea y Diomedes, dice de nuevo Homero. De aquí nació el término Estentóreo, para indicar un sonido (voz, grito, risa) que supera, digamos, lo soportable.

¿Y qué tanto gritaban Estentor y Ares o los diez mil guerreros? Ya está dicho que la audibilidad en casos semejantes va aumentándose en 3 dB

THESAURUS. Tomo LIII. Núm. 3 (1998). Álvaro CALDERÓN RIVERA. Formulación ...
Centro Virtual Cervantes

cada vez que se duplica el volumen. Así que, si el grito atronador de estos guerreros era para Estentor como el de 50 hombres y para Ares como 10.000 guerreros, bastaría intentar la elaboración de fórmulas matemático-algebraicas, a fin de calcular el volumen total, fundamentadas ellas en el incremento intensivo y constante, de 3 dB cada vez que se duplicase el volumen inicial. De esta manera, el grito de Estentor alcanzaría una potencia de entre 90 y 93 dB, más o menos como el fragor de la caída de las Cataratas del Niágara o el estruendo de un tren subterráneo, pues estimando que el grito de un hombre adulto fuese de 75 dB, cálculo de entendidos, a la voz de Estentor habría que hacerle estos considerandos: Grupo básico, E + 2 (2º grupo) + 4 (3º) + 8 (4º) + 16 (5º) + 32 (6º) como último grupo real, anterior a 50 que es el término de comparación (como 50 hombres, dice *La Iliada*). Para el presente cálculo sobre la poderosa voz de Estentor, habría que aumentar a sus 75 dB, los 15 dB consolidados (3 dB por cada uno de los 5 grupos reales, entendidos solamente hasta 32), y presupuestar proporcionalmente entre 1 y 3 decibeles más, por el grupo potencial de 32, el que va de 33 a 64. Recuérdese que por cada nuevo duplicado deben aumentarse a la cantidad anterior, un total de 3 dB. Estentor emitía, pues, una voz de, aproximadamente, 91 dB, y Ares, con el mismo procedimiento y consideración, 117 dB, tanto como el despegue de un avión de hélice.

Al trabajar con números exactos, como múltiplos de una base inicial, la cuestión es de por sí más sencilla bajo las siguientes convenciones, aptas para armar una fórmula funcional.

I^a = Intensidad acumulada
I^{bi} = Intensidad básica inicial
3 = Progresión intensiva constante, en decibeles
Y^r = Grupos regulares
-1 = Grupo inicial, que obviamente no sufre incremento

Veamos una aplicación, usando la fórmula siguiente:

$$I^a = I^{bi} + [3 (Y^r - 1)]$$

- Si dos personas generan 60 dB en un diálogo, ¿Cuántos dB generaría un auditorio de 512 personas que hablan simultáneamente?

En 512 personas se presentan estos duplos a partir de 2 personas iniciales: 2 - 4 - 8- 16 - 32 - 64 - 128 - 256 - 512.

Nueve (9) grupos múltiplos exactos, y de los cuales no se tiene en cuenta lógicamente el primero, porque sobre éste no se estima ningún incremento de 3 dB; aplicando la fórmula, daría:

THESAURUS. Tomo LIII. Núm. 3 (1998). Álvaro CALDERÓN RIVERA. Formulación ...
Centro Virtual Cervantes

$I^a = I^{bi} + [\,3\,(Y^r - 1)]$
$I^a = 60 + [\,3\,(9 - 1)]$
$I^a = 60 + [\,3\ dB\,(8)]$
$I^a = 60 + 24\ dB$
$I^a = 84$

Efectivamente, si a 60 dB de intensidad básica inicial le agregamos 3 dB por cada uno de los restantes 8 grupos, nos resulta 60 + 24 dB, es decir 84 dB.

Ensayemos con otro ejemplo, ahora distinto a voz humana:

- Si un redoblante de una banda de guerra suena a 58 dB, ¿Cuántos dB hacen los 32 redoblantes del conjunto?

$I^a = I^{bi} + [\,3\,(Y^r - 1)]$
$I^a = 58 + [\,3\,(6 - 1)]$
$I^a = 58 + [\,3\,(5)]$
$I^a = 58 + 15$
$I^a = 73\ dB$

Concluyentemente, 1, 2, 4, 8, 16, 32 hacen 6 grupos reales a los cuales se les disminuye el 1º, que no tiene incremento de 3 dB.

Entonces, 5 grupos reales por 3 = 15 dB + 58 = 73 dB.

Hasta ahí la cuestión es bien sencilla o aparentemente sencilla, porque se tuvieron que hacer, desde luego, muchos cálculos y variantes para la estabilización y consolidación de datos y convenciones a fin de que la fórmula resultara clara, didáctica y, sobre todo, precisa, como creo que resultó; parece que la fórmula funciona porque lo ensayamos con muchísimos casos, así como números y datos reales.

Pero lo más interesante resulta ahora, cuando no queriendo estar sometidos a duplos exactos y números de grupos, también exactos, se nos ocurre que en la vida real no fuese un auditorio de 512 hablantes sino de 1234 hablantes y 55 redoblantes en vez de 32 (1234 no es duplo de 512 y 55 nos es el doble de 32).

Hemos procedido así y con estas convenciones y considerandos:

La misma fórmula inicial a la cual se le adiciona un sumando

$I^c \times X^d / X^p$

que daría la siguiente fórmula global completa, así:

$I^a = I^{bi} + [\,3\,(Y^r - 1)] + (I^c \times X^d) / X^p$

THESAURUS. Tomo LIII. Núm. 3 (1998). Álvaro CALDERÓN RIVERA. Formulación ...
Centro Virtual Cervantes

Explicación de las nuevas convenciones:

I^c = Intensidad constante progresiva, de 3 dB, que debe adicionarse a la intesidad de cada grupo anterior.

X^d = Grupo diferencial, estimativo numérico en unidades, de los tambores o hablantes en este caso, que restan por calcular aún. Este dato se obtiene restando del número total propuesto (1234 ó 55), el último de los duplos reales posibles así:

1234 - 1024 = 210 como grupo diferencial, ó 55 - 32 = 23 como grupo diferencial, de cuyas intensidades no se sabe, a menos que se les aplique la fórmula compuesta que se acaba de proponer.

En realidad, 1024 ó 32 son los dos últimos duplos posibles entre 512 y 1234 o entre 16 y 55. No sabemos, pues, aún en verdad, qué intensidad acumularían las 210 personas restantes o los 23 tambores, también restantes. Las nuevas cifras de intensidad acumulada tanto para 1234 ó 55 estarían aproximadamente entre 73 dB y 76 dB, para los tambores, y para los 210 hablantes restantes incrementarían más o menos 3 dB, es decir, entre 84 dB y 87 dB. El duplo ficticio de 2048 daría un total exacto de 87 dB; es decir 84 dB para 1024 hablantes y 87 para 2048.

X^p = Grupo potencial, estimativo numérico en unidades de hablantes o tambores y constitutivo de un siguiente grupo ficticio, que no se alcanza a configurar; por ejemplo, a partir de 1024 hablantes ó 32 redoblantes, el próximo grupo potencial sería 2048 hablantes (por ahora sólo se tiene 1234) ó 64 redoblantes (por ahora sólo se tiene 58) que incrementarían cada uno por su parte 3 dB a las intensidades ya averiguadas a través de la primera parte de la fórmula, $I^a = I^{bi} + [\ 3\ (Y^r - 1)]$.

¿Y a qué se debe la estructura de la segunda fórmula? Simplemente a una regla de tres, planteada así:

Si otros 32 redoblantes adicionales (GP) hacen 3 dB más, uno de los 32 haría 32 veces menos y 23 (G^d), harían veintitrés veces más:

3... x 23 / 32

regla de tres que traducida a convenciones daría

$I^c \times G^d / G^p$

y, finalmente,

$3 \times X^d / X^p$

quedando así la formula total:

$I^a = I^{bi} + [\ 3\ dB\ (Y^r - 1)] + (I^c \times X^d) / X^p$.

Aplicándola sobre el problema de los 55 redoblantes, a partir del inicial que suena a 58 dB, quedaría así su desarrollo:

$I^a = I^{bi} + [\ 3\ dB\ (Y^r - 1)] + (I^c \times X^d) / X^p$

$I^a = 58\ dB + [\ 3\ dB\ (6 - 1)] + (3\ dB \times 23) / 32$

THESAURUS. Tomo LIII. Núm. 3 (1998). Álvaro CALDERÓN RIVERA. Formulación ...
Centro Virtual Cervantes

$I^a = 58\ dB + [\ 3\ dB\ (5)] + 69\ dB / 32$
$I^a = 58\ dB + 15\ dB + 69\ dB / 32$
$I^a = 73\ dB + 2.15\ dB$
$I^a = 75.15\ dB.$

Respuesta comparada: 32 redoblantes hacen 73 dB y 55 redoblantes, (cifra cercana al próximo duplo de 64), hacen 75.15 dB; casi 76.76 dB exactos serían producidos por otro grupo potencial de los nuevos 32 redoblantes, es decir, los comprendidos entre 33 y 64.

O con los dos dialogantes dueños de 60 dB, frente a 1234 hablantes, veamos el desarrollo de la fórmula:

$I^a = I^{bi} + [\ 3\ dB\ (Y^r - 1)] + (I^c \times X^d) / X^p$
$I^a = 60\ dB + [\ 3\ dB\ (10 - 1)] + (3 \times 210) / 2048$
$I^a = 60\ dB + [\ 3\ dB\ (9)] + 630 / 2048$
$I^a = 60\ dB + 27\ dB + 630 / 1024$
$I^a = 87\ dB + 0.30\ dB$
$I^a = 87.30\ dB.$

Justificación de este último problema: 2 hablantes es un primer grupo real; los siguientes duplos serían, como grupos reales y posibles, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 y 1024, éste, como el más cercano a 1234 hablantes propuestos (9 grupos reales posibles de los diez), y por los cuales hay que aumentar 27 dB (9 x 3) a los 60 dB iniciales. Total: 87 dB, que subiría a 90 dB si se contara con otro grupo más, duplo de 1024, o sea 2048, pero sólo se cuenta por ahora con 210 hablantes sobrantes más, como grupo numérico flotante y motivo de la averiguación (1024 + 210 = 1234). Esos 210 hablantes, muy distantes de los próximos 1024, en vez de 3 dB más, sólo alcanzan a sumar 0.30 dB, la tercera parte de un decibel.

Con esta fórmula: $I^a = I^{bi} + [\ 3\ dB\ (Y^r - 1)] + (I^c \times X^d) / X^p$, se puede definir, precisar, clarificar y mecanizar algo que estaba sólo en la concepción etérea de que por cada vez que se dobla un volumen de intensidad se deben estimar incrementos de 3 dB.

Como aficionado a la lingüística y a la fonética a quien le son equívocos numerosos planteamientos aritméticos, algebraicos y porcentuales, presento este intento de contribuír a superar esta incógnita matemática de las ciencias fónicas.

ÁLVARO CALDERÓN RIVERA

Instituto Caro y Cuervo.

THESAURUS. Tomo LIII. Núm. 3 (1998). Álvaro CALDERÓN RIVERA. Formulación ...
Centro Virtual Cervantes