

Eficiencia de la Ponderación “A” desde el Punto de Vista de la Salud

Pablo Kogan^a, Jorge P. Arenas^b

^a Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile, acoustics@eudoramail.com

^b Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

RESUMEN: La ponderación “A” surgió a partir de las curvas de igual sonoridad medidas para el oído humano hace varias décadas. Actualmente es ampliamente utilizada en las mediciones de ruido y para determinar si los niveles sonoros emitidos cumplen o no las exigencias legales.

Existen efectos adversos extra-auditivos provocados por el ruido en el ser humano que no están representados apropiadamente por la ponderación “A”. Esto se debe a que los espectros sonoros que producen algunas alteraciones fisiológicas no coinciden con el espectro de la sensibilidad auditiva. El dB(A) está relacionado sólo con este último.

Se realizó una extensa recopilación bibliográfica y se analizaron los espectros del ruido que causan cada uno de los efectos sobre la salud. Estos espectros se compararon con las frecuencias de corrección de la curva “A”. Se halló que, a niveles sonoros superiores a 90 dB, la ponderación “A” no es adecuada para evaluar el impacto global que tiene el ruido sobre la salud humana.

ABSTRACT: The A-weighting network is derived from the equal loudness contours, measured for the human ear. Nowadays, it is widely used in acoustics measurements and noise legal assessment.

There are extra-hearing adverse effects of noise on human that are not appropriately represented by the A-Weighting Network. This is because the sound spectra that cause some physiological disturbances are not equal to the hearing sensitivity spectrum. The dB(A) is related only with the last one.

The noise spectra related with each effect on health were analyzed from the base of an extensive bibliographic review, and then they were compared with the A-curve. It was found that, above 90 dB, the A-Weighting Network is not adequate for evaluating the total effect of noise on health.

1. INTRODUCCIÓN

La exposición al ruido causa múltiples efectos en las personas. La pérdida auditiva es el efecto del ruido de mayor estudio y más presente en la legislación sobre ruido. Ésta se manifiesta especialmente en aquellas frecuencias sonoras donde el oído tiene su mayor sensibilidad. Por este motivo, se podría pensar que para evaluar la potencialidad destructiva del ruido sobre el oído, resultaría adecuado medirlo en decibeles “A”.

Sin embargo, existen otros efectos del ruido de igual (o incluso mayor) gravedad que la pérdida auditiva. Estos efectos “extra-auditivos” usualmente no son considerados. Muchos de ellos son de naturaleza fisiológica. Algunos de ellos tienen un reflejo psíquico y pueden ocasionar consecuencias sociales severas. Entre estos efectos podemos nombrar: la pérdida de la calidad del sueño (con su correspondiente decremento del rendimiento y del bienestar), el estrés, la interferencia en la comunicación, las alteraciones cardiovasculares, las

complicaciones gastrointestinales, los cambios endocrinos e inmunológicos, la modificación del ritmo respiratorio, la fatiga corporal, las resonancias del organismo y otros.

Cada uno de los efectos del ruido es producido, en mayor o menor medida, según cuál sea la naturaleza del estímulo acústico que recibe la persona afectada. Por este motivo, es esperable que la frecuencia tenga incidencia en la magnitud de cada una de las consecuencias fisiológicas y psicológicas del ruido. Por ejemplo, la fatiga corporal provocada por una banda de ruido centrada en 100 Hz de determinado nivel sonoro, no tendría por qué tener la misma magnitud que la fatiga corporal provocada por un ruido de igual nivel sonoro y forma espectral, pero centrado en 5000 Hz. Este razonamiento lo podríamos aplicar para cada uno de los efectos del ruido en las personas. Entonces, podríamos decir que cada efecto del ruido tiene su propia respuesta en frecuencia, aunque muchas de ellas no se conocen en la actualidad.

Sin embargo, existen registros experimentales que indican que la respuesta en frecuencia de algunos de los efectos del ruido no coincide con la respuesta del oído humano. ¿La magnitud de las secreciones de ácido estomacal que se ha observado en presencia de ruido necesariamente tiene que ser mayor en las frecuencias de mayor sensibilidad del oído? Muchas preguntas como esta se podrían hacer. En este trabajo se estudia cada efecto del ruido y las frecuencias sonoras que los causan. De esta forma, la pérdida auditiva se analiza sólo como uno más de todos los efectos adversos que el ruido provoca sobre la salud.

La ponderación “A” surgió exclusivamente de la respuesta en frecuencia del oído. Sin embargo, ésta es actualmente utilizada para evaluar algo que excede a su naturaleza: el impacto global del ruido sobre el ser humano. En el supuesto que la ponderación “A” representase apropiadamente la respuesta del oído humano, éste estaría protegido de las frecuencias sonoras más dañinas, pero no por ello lo estaría el resto del cuerpo y la psiquis. A pesar de esto, no es posible afirmar que la ponderación “A” es inadecuada sin antes estudiar los efectos del ruido en las personas y las frecuencias sonoras que los ocasionan. Esto es lo que se analiza en el presente trabajo.

2. ORIGEN DEL dB(A)

La curva “A” surgió a partir de los *contornos de igual sonoridad* (o *curvas isofónicas*), al igual que las curvas “B” y “C”. Las curvas isofónicas fueron halladas por Fletcher y Munson en Inglaterra en el año 1933 [1]. Las ponderaciones “A”, “B” y “C” se definieron en el borrador de la norma “*Sound Level Meters for Measurement of Noise and Other Sounds*” que publicó la *American Standard Association* en 1936 y fue aprobada en 1944 [2].

La ponderación “A” fue obtenida de la curva de sonoridad de 40 fonos. Al invertir dicha curva se obtiene la forma aproximada del filtro “A”. Para el trazado de la ponderación “A” se ha simplificado considerablemente la dinámica que poseen las curvas isofónicas en frecuencias altas. Lo mismo puede decirse para las ponderaciones “B” y “C”, que surgen de la simplificación de los contornos de 70 fonos y 100 fonos, respectivamente.

Los contornos de igual sonoridad fueron hallados para tonos puros. Por dicho motivo, al elaborar curvas de ponderación a partir de ellos, se está asumiendo implícitamente que estas ponderaciones serán válidas para tonos puros. La ponderación “A” fue definida originalmente



para ponderar niveles de presión sonora comprendidos entre 24 dB y 55 dB. A pesar de ello, en la actualidad la curva “A” se emplea para todo tipo de ruidos, incluyendo aquellos complejos y que se encuentran fuera del rango para el que fue definida.

3. EFECTOS ADVERSOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD

Los efectos adversos del ruido en el ser humano (*efectos del ruido*), fueron clasificados según sus espectros sonoros causantes y según los niveles sonoros sobre los cuales pueden tener lugar. Cada efecto del ruido requiere de distintos tiempos de exposición para manifestarse. La variable temporal ha sido omitida en la siguiente clasificación, ya que no se ha encontrado que tenga relación con la eficiencia de la ponderación “A”.

3.1 División del Espectro

Se dividió el espectro sonoro en tres rangos: a) frecuencias bajas e infrasónicas (*LIF*); b) frecuencias medias (*MF*); y c) frecuencias altas y ultrasónicas (*HUF*). Para el presente trabajo, estos tres rangos se definen como:

- *LIF*: Frecuencias bajas e infrasónicas, son las inferiores a 500 Hz
- *MF* : Frecuencias medias, son las comprendidas entre 500 Hz y 4000 Hz
- *HUF*: Frecuencias altas y ultrasónicas, son las superiores a 4000 Hz.

3.2. División del Rango Dinámico Audible

El rango dinámico del ruido en el cual se producen efectos adversos sobre el ser humano, es del orden de 150 dB (aproximadamente entre 30 dB a 180 dB). Este rango es demasiado amplio, por lo cual se dividió:

- *Rango I* : Niveles sonoros inferiores a 60 dB
- *Rango II* : Niveles sonoros comprendidos entre 60 dB y 90 dB
- *Rango III* : Niveles sonoros superiores a 90 dB.

Se clasifican todos los efectos del ruido dentro de estas tres categorías. Los efectos que se manifiestan en el Rango I, por lo general también están presentes durante exposiciones a los niveles de los Rangos II y III. Así mismo, los efectos del Rango II también se manifiestan en el Rango III.

El hecho de incluir efectos del ruido en alguno de los tres rangos de niveles definidos, implica que estos efectos pueden manifestarse como respuesta a algún nivel sonoro comprendido en el rango. Sin embargo, éste no necesariamente tendrá lugar en todas las personas expuestas a las mismas condiciones de ruido.

3.3 Efectos del Ruido Producidos en el Rango I

La tabla 1 contiene los efectos adversos del ruido en el ser humano que pueden presentarse a niveles sonoros inferiores a 60 dB.

Tabla 1 – *Efectos adversos del ruido a niveles sonoros inferiores a 60 dB*

Frecuencias Bajas e Infrasonicas (< 500 Hz)	Frecuencias Medias (> 500 Hz ; < 4000 Hz)	Frecuencias Altas y Ultrasónicas (>4000 Hz)
Enmascaramiento e interferencia con la comunicación [3]	Enmascaramiento e interferencia con la comunicación [3]	Molestia [4,5,6]
Molestia [4,5,6]	Molestia [4,5,6]	Reducción del rendimiento [7, 8, 9]
Alteración del sueño [3]	Reducción del rendimiento [7,8,9]	Alteración del sueño [3]
	Alteración del sueño [3]	

3.4 Efectos del Ruido Producidos en el Rango II

En el Rango II de niveles sonoros, comprendido entre 60 dB y 90 dB, pueden tener lugar todos los efectos producidos a niveles inferiores (Rango I) y además los efectos que se incluyen en la tabla 2.

Tabla 2 – *Efectos adversos del ruido a niveles sonoros comprendidos entre 60 dB y 90 dB*

Frecuencias Bajas e Infrasonicas (< 500 Hz)	Frecuencias Medias (> 500 Hz ; < 4000 Hz)	Frecuencias Altas y Ultrasónicas (>4000 Hz)
Alteraciones sobre el sistema vegetativo [7]	Desplazamiento temporal de los umbrales auditivos [3, 5, 10]	Desplazamiento temporal de los umbrales auditivos [3, 5, 10]
	Alteraciones sobre el sistema vegetativo [7]	Alteraciones sobre el sistema vegetativo [7]

3.5 Efectos del Ruido Producidos en el Rango III

A niveles sonoros superiores a 90 dB se pueden producir efectos severos sobre la salud. Además de los efectos adversos incluidos en las tablas 1 y 2, en el Rango III pueden presentarse las alteraciones indicadas en la tabla 3. Algunos de estos efectos pueden tener lugar a niveles sonoros de 90 o 100 dB (como es el caso de *la enfermedad vibroacústica* y las molestias en el oído), mientras que otras patologías tienen lugar recién a niveles sonoros mucho más elevados (como es el caso de la reducción de la tensión de los músculos de fibra lisa, que requieren al menos 170 dB, o los desgarros alveolares, que se pueden producir recién sobre los 180 dB).

Tabla 3 – *Efectos adversos del ruido a niveles sonoros superiores a 90 dB*

Frecuencias Bajas e Infrasonicas (< 500 Hz)	Frecuencias Medias (>500 Hz ; <4000 Hz)	Frecuencias Altas y Ultrasonicas (>4000 Hz)
Enfermedad vibroacústica [11]	Pérdida auditiva [3, 5, 10]	Pérdida Auditiva [3, 5, 10]
Desplazamiento temporal y permanente de umbrales auditivos [3, 5]	Dolores y molestias en el oído [4, 5]	Dolores y molestias en el oído [4, 5]
Dolores y molestias en el oído [4, 5]	Efectos sobre la vista [5, 8, 14]	Mareos y pérdida del equilibrio (ultrasonidos) [5]
Vibraciones localizadas en el cuerpo [5, 8, 9]		Enrojecimiento y fisuras en la piel (ultrasonidos) [5]
Fatiga corporal [5, 8]		
Mareos, nauseas, deficiencias motrices y desmayos [5, 8, 10]		
Decremento de la precisión visual [5]		
Alteraciones psiquiátricas (infrasonido) [8]		
Tos y ahogamiento [5]		
Modulación del habla [5]		
Respiración artificial inducida [5, 8, 4]		
Reducción de la tensión de músculos de fibra lisa [5]		
Desgarros alveolares (infrasonidos) [8]		

4. DISCUSIÓN

Los efectos del ruido en el ser humano son muchos y de distinta índole. Algunos de estos efectos son producidos directamente en el oído, mientras que otros van aún más allá. Incluso, algunos efectos del ruido no son causados por las recepción de las ondas por parte de nuestro oído: éstas ingresan al organismo en forma estructural (por ejemplo las vibraciones de algunos órganos). La gravedad de algunos de los efectos no-auditivos del ruido es realmente considerable, poniendo en serio riesgo la salud física y mental. Esto conduce a pensar que el ruido debería ser ponderado de acuerdo a su impacto global sobre la salud.

Las curvas de ponderación actual, en particular la curva “A”, consideran exclusivamente la recepción del ruido por parte del oído. El material bibliográfico sobre las consecuencias extra-auditivas que ha sido recopilado, es suficiente para comprender que el daño que el ruido provoca sobre la salud humana no puede ser juzgado sólo con criterios basados en el sistema auditivo humano.

La mayor parte de la legislación que protege a las personas del ruido exige ponderar el ruido con el filtro “A”. Por esta razón, podríamos decir que dicha legislación persigue el objetivo tácito de proteger los oídos de las personas solamente. Para proteger íntegramente a las personas del ruido, un primer paso debería ser el conocimiento de los espectros sonoros que causan los efectos extra-auditivos. De acuerdo con el análisis realizado, las frecuencias de varios de estos efectos no coinciden con las frecuencias de mayor sensibilidad del oído humano. Por esta causa, el empleo de una ponderación auditiva no sería apropiado para evaluar todos los efectos del ruido. ***No podemos afirmar que la legislación sobre ruido protege íntegramente la salud de las personas frente al ruido. El dB(A) nació de criterios auditivos y por lo tanto su incumbencia es para efectos auditivos.***

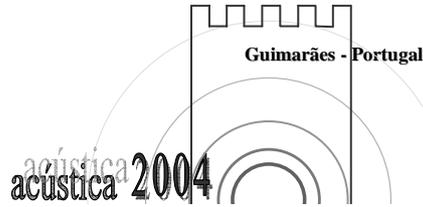
Gran parte de la investigación biomédica acerca de los efectos del ruido que se encuentra en la bibliografía, considera exclusivamente el nivel sonoro global que se ha utilizado como estímulo. Esto constituye una suerte de paradoja para el análisis, ya que no es posible evaluar correctamente una herramienta utilizando la misma herramienta. A causa de ello fue necesario desechar un gran número de fuentes bibliográficas.

El nivel global (ya sea en dB o dB(A)) no brinda información sobre el contenido espectral del ruido. Esto impide analizar la eficiencia de las ponderaciones. Pero, lo que es más grave, puede conducir a que el trazado de límites permisibles de ruido sea realizado en forma errónea. La causa de esto es que los niveles sonoros globales indicados en los estudios pueden ser hallados mediante un gran número de espectros distintos y solamente en base al nivel global no existe manera de reconstruir la información espectral. Por otra parte, cada efecto del ruido posee distintas frecuencias que lo originan. Esto podría provocar que algún efecto adverso señalado en la literatura y que se produce a un determinado nivel global, no sea reproducible en otra experiencia. ***O sea, el empleo del nivel sonoro global en estudios de dosis-respuesta, sin el correspondiente registro del espectro, puede afectar la validez de la reproducibilidad del trabajo.*** Esta es una de las principales causas por las cuales la investigación respecto a los efectos extra-auditivos del ruido muchas veces no entrega resultados concluyentes.

Como se observa en la tabla 3, por encima de 90 dB existen muchos efectos sobre la salud causados por la exposición al ruido de frecuencias bajas e infrasónicas. Si bien la pérdida de la audición puede ser importante a estos niveles, ésta podría ser prevenida total o parcialmente mediante el correcto uso de protectores auditivos.

Una de las enfermedades más graves que se producen en el Rango III de niveles, es la enfermedad vibroacústica (“Vibroacoustic Disease”), que es causada por la exposición prolongada a ruidos de frecuencias bajas (< 500 Hz) y de niveles sonoros superiores a 90 dB. La enfermedad vibroacústica es una patología de naturaleza sistémica que fue hallada en forma relativamente reciente y que posee consecuencias devastadoras sobre la salud. Con el correr de los años de exposición a este tipo de ruido, la enfermedad vibroacústica puede progresar desencadenando cuadros clínicos de gravedad como infartos cardíacos, accidentes cerebro-vasculares, cáncer, epilepsia y reacciones sociales violentas, entre otros [12].

Otro efecto del ruido cuya magnitud se vuelve considerable en el Rango III, es la aparición de vibraciones localizadas en el organismo, las que se producen frente a distintas frecuencias bajas, la gran mayoría de ellas inferiores a 100 Hz.



También, frente al ruido de frecuencia muy baja e infrasónica, y a elevados niveles sonoros pueden tener lugar síntomas relacionados con la movilidad del cuerpo, como fatiga, deficiencias motrices, mareos, náuseas y pérdida del equilibrio

La cantidad y gravedad de los efectos que se producen a causa de la exposición a altos niveles de ruido de frecuencia baja e infrasónica, torna evidente que esta clase de ruidos debe ser considerada como un potencial agente agresor de la salud humana. Esto no es representado por la ponderación “A”, ya que ésta le resta importancia a las frecuencias bajas. Por este motivo, se puede decir que la ponderación “A” no es adecuada para evaluar los efectos del ruido en el ser humano a niveles sonoros superiores a 90 dB.

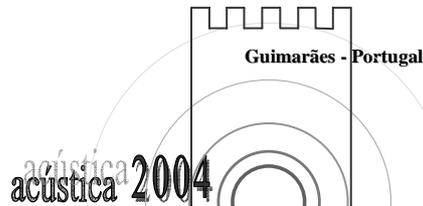
En los ámbitos laborales en que existen inmisiones sonoras superiores a 90 dB, el uso de la ponderación “A” no considera eficientemente el impacto del ruido sobre la salud de los trabajadores. Este resultado es válido para todas las industrias y lugares de trabajo donde se superan estos niveles sonoros, aún cuando la dosis de ruido sea inferior al 100 %.

5. CONCLUSIONES

- Los efectos no-auditivos del ruido son mayores y de mayor gravedad de lo que habitualmente se considera.
- Las frecuencias sonoras que causan varios de los efectos no-auditivos del ruido no coinciden con las frecuencias de mayor sensibilidad del oído y, por lo tanto, tampoco con la curva “A”.
- ***La ponderación “A” no es adecuada para evaluar los efectos nocivos del ruido en el ser humano cuando los niveles sonoros superan los 90 dB, debido a la cantidad y gravedad de los efectos del ruido que se producen a causa de las frecuencias bajas por sobre este nivel.***
- En industrias y otros ámbitos laborales en los que se emiten ruidos con contenido de frecuencias inferiores a 500 Hz y de niveles sonoros superiores a 90 dB, se puede manifestar la enfermedad vibroacústica en los trabajadores. A causa de esto, el empleo de la ponderación “A” en las mediciones de niveles sonoros y de dosis de ruido resulta inadecuado, ya que podría arrojar valores aceptados legalmente, aún cuando, posteriormente, se manifiesten patologías severas.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al Instituto de Acústica y a los funcionarios de la Universidad Austral de Chile por su contribución. A la Dra. Karla Caspers de la Universidad Witten/Herdecke de Alemania por su valioso aporte médico.



REFERENCIAS

- [1] H. FLETCHER, M. MUNSON; *Loudness, It's Definition, Measurement and Calculation*. JASA, Vol. V, pp. 82-108, 1933.
- [2] H. SCOTT; *Historical Development of the Sound Level Meter*. JASA, Vol. 29 N° 12, 1957.
- [3] B. BERGLUND, T. LINDVALL, D. SCHWELA; *Guidelines for Community Noise*. World Health Organization, Cluster of Sustainable Development and Healthy Environment, Department of the Protection of the Human Environment, Occupational and Environmental Health, Geneva, 1999.
- [4] B. BERGLUND, T. LINDVALL; *Community Noise*. Document prepared for the World Health Organization (WHO), Center for Sensory Research, Stockholm, 1995.
- [5] K. KRYTER; *The Effects of Noise on Man*. Second edition, Academic Press, Londres, 1985.
- [6] P. KOGAN, E. ROSALES; *Molestia Generada por Ruidos con Igual Nivel Sonoro "A" y Distinto Contenido Espectral*. Segundo Congreso Argentino del Nuevo Milenio y Segundas Jornadas de Acústica, Electroacústica y Áreas Vinculadas, Buenos Aires, 2003.
- [7] B. GRIEFAHN; *Psycho-Physiological Effects of Noise*. Seminario Latinoamericano de Acústica, Volumen II, Córdoba, Argentina, 1982.
- [8] M. RECUERO; *Ingeniería Acústica*. Editorial Paraninfo, Madrid, 1994.
- [9] D. JOHNSON; *Infrasound, It's Sources and Effects*. Seminario Latinoamericano de Acústica, Volumen I, Córdoba, 1982.
- [10] C. HARRIS; *Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido*. Tercera edición, McGraw Hill, Madrid, 1995.
- [11] M. ALVES-PEREIRA, N. CASTELO BRANCO; *Vibroacoustic Disease: The Need for a New Attitude Towards Noise*. CITIDEP & DCEA-FCT-UNL, Lisboa, 2000.
- [12] N. CASTELO BRANCO; *The Clinical Stages of Vibroacoustic Disease*. Aviation Space & Environmental Medicine, 70 (3, Suppl): A32-9, 1999.
- [13] A. CALLEGARI, A. FRANCHINI; *Ressegna degli effetti derivanti dall'esposizione al rumore*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma, 2000.
- [14] M. RECUERO; *Contaminación Acústica*. Licenciatura en Ciencias Ambientales, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2002.