

**ESTADO DEL ARTE DEL RUIDO DE TRANSITO: ORIGEN Y CONTROL**  
**STATE-OF-THE-ART APPROACHES TO URBAN NOISE DISTRESS: ORIGIN AND CONTROL**

*Por / By Juan C. Giménez de Paz*

**Resumen**

*Se hace una breve introducción sobre el problema de ruido urbano y sus efectos sobre el ciudadano. Dentro del esquema general de tratamientos de control de ruido en un planeo típico de ingeniería acústica aplicada, se presenta el estado del arte en el problema del ruido originado por el tránsito vehicular en rutas y autopistas y sus posibles soluciones. Se comentan los métodos clásicos de atenuación de la inmisión sonora en las áreas afectadas mediante la técnica de barreras acústicas, haciendo mención a las líneas actuales de desarrollo y perfeccionamiento en este tipo de soluciones acústicas. Se concluye que esta técnica se mantiene como la más difundida y probada, con continuas innovaciones.*

*Palabras Clave: acústica, ruido urbano, ruido de tránsito, pantallas acústicas.*

**Abstract**

*This paper offers a brief introduction to urban noise distress and its effects on city dwellers. Within the general frame of noise control treatments in a typical planning of applied acoustics engineering, State-of-the-art solutions to abate noise troubles originated by passing vehicles in highways and motorways and their possible solutions are discussed. Classic methods for dampening sound immersion in affected zones by means of acoustic barriers are then commented in detail, mentioning the lines of action taken currently to develop and achieve this type of acoustic solutions. The final conclusion is that this technique, which has been the object of constant innovations, still is the best known and tested one.*

*Keywords: acoustics, urban noise, passing vehicles noise, acoustic barriers.*

**Keywords:** *acoustics, urban noise, passing vehicles noise, acoustic barriers.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Es un hecho común en nuestras modernas ciudades, la existencia de ruido y vibraciones como subproducto indeseado de la actividad fabril, tránsito vehicular, ferroviario y aéreo, y en general de la actividad urbana. Estos ruidos y vibraciones no sólo se presentan en los lugares públicos y de trabajo, sino también en hogares, lo que en conjunto provocan efectos directos en la audición e indirectos en toda la unidad psicofísica del ser humano.

Los efectos directos, típicos de la actividad industrial, pueden provocar daño a la capacidad auditiva, resultado de la combinación entre niveles sonoros acumulativos elevados y tiempos de exposición, lo que constituye, la dosis de ruido recibida. La Figura 1 muestra una relación empírica del riesgo porcentual de población sujeta a pérdidas severas de audición con la dosis de ruido recibida. Esta dosis recibida a lo largo de jornadas laborales (8 horas) está expresada como nivel sonoro continuo equivalente ( $L_{eq}$ ), en la escala de dBA.

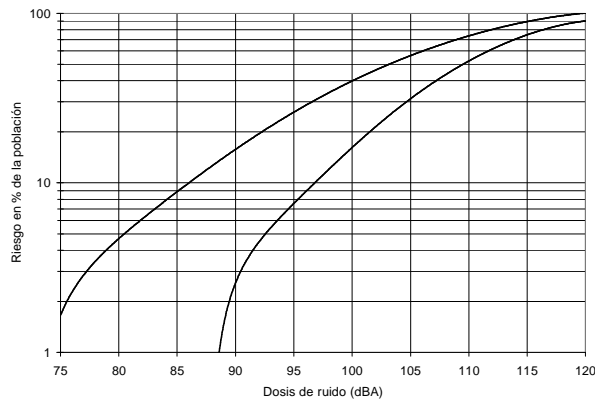


Figura 1. Riesgo de hipoacusia por dosis de ruido (adaptado de Hamton,1981)

Con agresiones sonoras menores, se producen pérdidas de concentración en oficinas bibliotecas, o en la posibilidad de descanso en viviendas, hoteles y hospitales.

Respecto a la perturbación del sueño, uno de los efectos más difundidos y que afecta a toda la conducta de la actividad diaria posterior, se han hecho estudios de laboratorio desde hace ya más de 30 años, reproduciendo ruidos de tránsito y midiendo las respuestas de personas dispuestas al sueño.

Estos estudios con limitaciones propias de laboratorio, llegan de todas maneras a conclusiones de interés: ruido de tránsito con valores superiores a los 45 dBA, perturban el sueño causando reacciones y cambios en sus patrones de sueño. Por el contrario, con valores inferiores a 36 dBA no se apreciaron estas perturbaciones (Eberhardt y otros, 1987).

Estudios de campo muestran ciertas variables no previstas, tales como el temor a los accidentes: la sensibilidad y con ello los efectos sobre el sueño, se incrementan cuando las personas afectadas por ruido de tránsito (incluyendo el de aeronaves) tienen sensaciones de posibles accidentes en su área. Los ruidos que perciben pueden afectarlos tanto como lo harían ruidos similares pero incrementados en más de 15 dBA respecto a los realmente medidos (Miedema y Vos, 1999).

En cualquier caso, a mayor nivel sonoro, se produce un mayor daño y molestia, lo que da origen a reacciones adversas. Al tratarse de un problema estadístico, las correlaciones entre población afectada y niveles sonoros involucrados dependen de cada estudio de campo realizados, pudiéndose tomar como guía la Figura 2. Las franjas graficadas son el resumen de las numerosas curvas obtenidas en un estudio exhaustivo que tuvo en cuenta distintas comunidades y varios tipos de agresiones urbanas y encierran el 90% de los datos (Schultz, 1977).

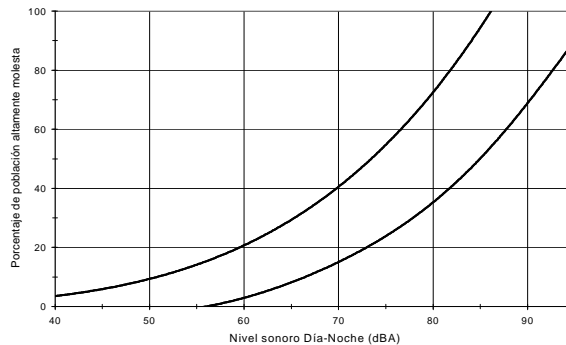


Figura 2. Reacción comunitaria al ruido urbano

El parámetro en el eje de abscisas es el llamado Nivel sonoro Día-noche ( $L_{dn}$  en dBA) que tiene en cuenta los valores durante las 24 h diarias, penalizando con 10 dBA a los valores nocturnos (lapso de 9 h) definido por la ecuación 1.

$$L_{dn} = 10 \log \frac{1}{24} \left[ 15 \times 10^{0,1L_d} + 9 \times 10^{0,1(L_n+10)} \right] \quad (1)$$

Schultz logró un ajuste empírico (ecuación 2) entre el porcentaje de personas altamente afectadas por ruidos (%HA), con el parámetro  $L_{dn}$ , a partir de un conjunto de ajustes previos para varias ciudades del hemisferio norte (este ajuste es válido para valores  $L_{dn} > 45$  dB dado que para valores menores la curva tiene un comportamiento sin sentido físico).

$$\%HA = 0,8553 L_{dn} - 0,0401 L_{dn}^2 + 0,00047 L_{dn}^3 \quad (2)$$

En las ciudades se presentan también, otros problemas que incrementan las perturbaciones comentadas, tal como la falta de privacidad entre oficinas, departamentos, y habitaciones de hoteles, la inteligibilidad oral en salas de reuniones y auditorios, la mala calidad acústica de salas de teatro, concierto y cines. Todos son problemas de una misma causa: el ruido.

Existen dos disciplinas que involucran estos problemas, la Ingeniería Acústica que tiene por objetivo eliminar ruidos y vibraciones y la Acústica Arquitectónica y de salas, cuyo propósito es mejorar la calidad sonora de espacios públicos.

En estas direcciones se desarrollaron y aún se sigue haciendo, estudios teóricos y de laboratorio multidisciplinarios orientados a:

- a) Elaborar criterios que permitan fijar límites en los valores de niveles sonoros y de vibraciones, a fin de proteger al sistema auditivo, el descanso, etc.
- b) Desarrollar modelos predictivos que permitan anticipar los niveles de ruidos y vibraciones que generarán las fuentes más diversas.
- c) Diseñar y fabricar equipos de medición que permitan cuantificar la emisión e inmisión sonoras y de vibraciones.
- d) Desarrollar técnicas de atenuación de ruidos y vibraciones.
- e) Desarrollar materiales y sistemas de atenuación.

Los desarrollos anteriores se aplican a una metodología básica de trabajo que involucra los siguientes pasos:

- a) Cuantificación del problema acústico existente, en base a mediciones de sus parámetros, o bien su predicción en caso de un proyecto.
- b) Adopción de criterios, normas o legislación como objetivo a lograr.
- c) Aplicación de la tecnología acústica para mejorar los problemas acústicos mencionados.

## 2. RUIDO DE AUTOPISTAS

### 2.1 Origen y Evaluación

El ruido originado por el tránsito vehicular, padecido por muchos ciudadanos, es un caso emblemático para ejemplificar avances y desarrollos actuales de la ingeniería acústica aplicada. Es un hecho al día de hoy, que si bien éste es un problema de presencia incuestionable, aún no hay a nivel internacional un criterio de aceptación general de los parámetros acústicos que permitan cuantificar este tipo de fuentes de ruido en relación con sus efectos, ni tampoco legislaciones con objetivos indiscutidos para asegurar la defensa del ciudadano a esa agresión, (Job y otros, 2001).

Dentro de estas limitaciones, la Unión Europea dispuso que el índice denominado  $L_{den}$  (variante del  $L_{dn}$  anterior, también expresado en dBA) es el único que deben adoptar sus estados miembros, definido mediante la ecuación (3).

$$L_{den} = 10 * \log \frac{1}{24} \left( 12 \times 10^{0,1L_{day}} + 4 \times 10^{0,1(L_{evening}+5)} + 8 \times 10^{0,1(L_{night}+10)} \right) \quad (3)$$

Este índice tiene en cuenta 3 períodos diarios con sus respectivos valores de penalización. Las mediciones deben efectuarse durante todo un año y deben disponer esta información para todas sus ciudades de más de 250.000 habitantes. La recopilación de la información debe estar finalizada a mediados de 2003 (Comisión de las Comunidades Europeas, 2000). No todas las comunidades se ajustan a una forma de vida que se adecue a los horarios tipificados.

A su vez, en los Estados Unidos, disposiciones federales que tiene en cuenta el tránsito inter-estatal, fijan valores máximos para vehículos medidos a 15 m de la línea central de la ruta, no debiendo superar valores referenciales dados en el gráfico de la Figura 3 (US Department of Transportation, 1995). Los estados tienen sus propias regulaciones al efecto, no todas coincidentes.

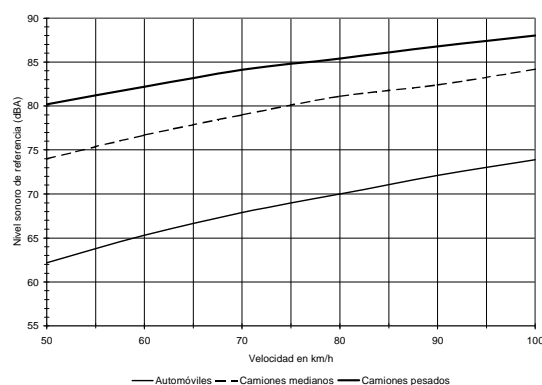


Figura 3. Niveles sonoros de referencia para vehículos

En la Cuarta Jornada de Ruido Urbano 2001, varios autores presentaron trabajos que proponen índices representativos de emisión e inmisión sonora que mejor representan al problema según cada uno. A nivel internacional también hay discrepancias entre los posibles indicadores según diversos autores (Crocker, 1997). Entre otros problemas, se presentan desacuerdos por diferentes idiosincrasias regionales en el comportamiento urbano y en rutas, estado del parque automotor, reglas de manejo, reacción comunitaria.

Además, el ruido de tránsito presenta un carácter estadístico de sus niveles sonoros según las características de caminos, calles y rutas: tiende a una distribución de Gauss en rutas con tránsito libre, mientras que en ambientes urbanos con tránsito intermitente y velocidad variable su comportamiento tiende a una distribución Gama (Tang y Au, 1999). La reacción comunitaria también tiene, como se dijo, un comportamiento estadístico. (Kryter, 1985)

En la Figura 4 se muestran valores experimentales (Tang y Au, 1999), para dos situaciones diferentes, la curva oscura corresponde a mediciones de tránsito fluido y la gris a tránsito interrumpido por semáforos. El eje de abscisas contiene la diferencia entre los valores instantáneos de nivel sonoro en dBA (muestras de 2 s) y el nivel sonoro continuo equivalente total de 25 minutos (750 datos para cada condición). La curva de tránsito fluido responde claramente a una distribución normal mientras que la otra presenta valores de asimetría positivos y de aplanamiento.

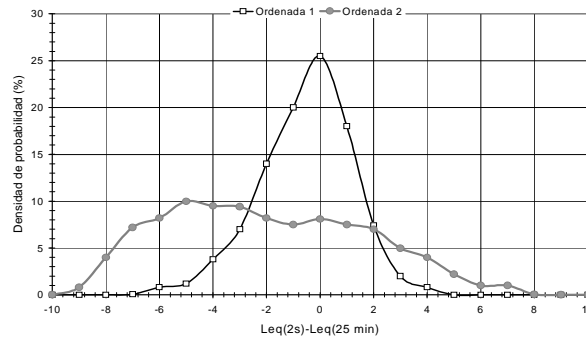


Figura 4. Distribución de densidad de nivel de ruido de tránsito medio

Esta falta de un parámetro acústico o índice representativo no permite a su vez, establecer límites en la inmisión sonora en áreas afectadas por estos ruidos, ya que no está definido qué porcentaje de la población estará satisfecha por los niveles a los que se reduzca. En forma recíproca, se dificulta la implementación de políticas preventivas propuestas por especialistas con opiniones plausibles pero encontradas.

Aclarado este punto de indefinición cuantitativa, es un hecho la necesidad de mitigar la inmisión sonora del ruido de tránsito tanto en ambientes urbanos como en carreteras. Se deja de lado la necesidad de disminuir la emisión de ruidos por parte de los vehículos, especialmente el de transporte público y el originado por el estado deficiente de las calzadas, que tiene por soluciones obvias, el tratamiento en las fuentes mismas.

## 2.2 Pantallas de Ruido

El tratamiento típico del ruido en carreteras, es mediante la interposición de barreras físicas con propiedades acústicas que provean atenuación sonora en las zonas que se desea proteger. A continuación se trata las pantallas en campo libre sin la influencia de las condiciones atmosféricas que influyen en su rendimiento. Estas consideraciones están contempladas en la norma, "VDI 2714 "Propagación sonora en espacio libre", VDI 2720 "Control de sonidos mediante barreras en espacio libre".

Se trata de elementos de altura finita que limitan el paso de sonido a través de la misma, generando un cono de sombras y permitiendo el paso de sonido sin limitaciones por sobre la misma. No obstante, parte del sonido que la sobrepasa se desvía invadiendo el cono de sombras, transformándose en un cono de penumbras (ver Figura 5).

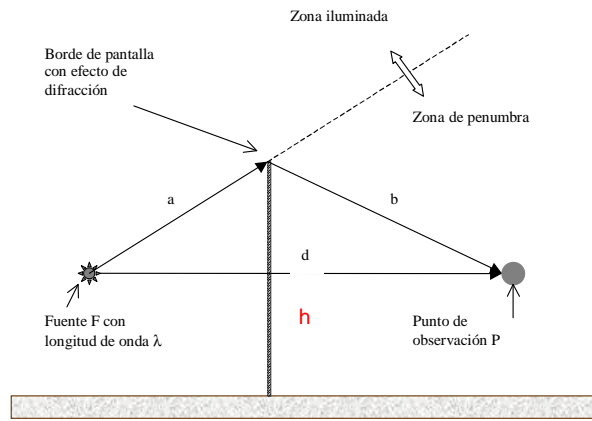


Figura 5. Esquema en corte de pantalla y nomenclatura para Figura 6

Este fenómeno se origina debido a que los diferentes puntos del borde cuando son alcanzados por una onda progresiva, dan origen a ondas secundarias, y la perturbación observada del otro lado de esta discontinuidad es el resultado de la superposición de estas ondas secundarias. Por la disposición en línea de estas fuentes secundarias (borde superior de la pantalla), la envolvente de las ondas que generan es un cilindro.

El modelo clásico que ya cumplió más de 30 años, es el desarrollado por Z. Maekawa (1968), mediante trabajos a escala y presentado posteriormente como algoritmo por Kurze y Anderson. La atenuación  $A_t$  en decibeles esperada para una determinada pantalla ( ver Figura 6) depende de las posiciones relativas de la fuente y sitio de evaluación y frecuencia, es punto a punto:

$$A_t = 5 + 20 \cdot \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\operatorname{tgh} \sqrt{2\pi N}} \quad (4)$$

en la que  $N$  es el número de Fresnel dado por la ecuación 5:

$$N = \frac{2}{\lambda} (a + b - d) \quad (5)$$

Donde:

$\lambda$  es la longitud de onda del sonido en cuestión,  $a$ ,  $b$ ,  $d$  son las distancias indicadas en Figura 5, todas expresadas en la misma unidad de longitud.

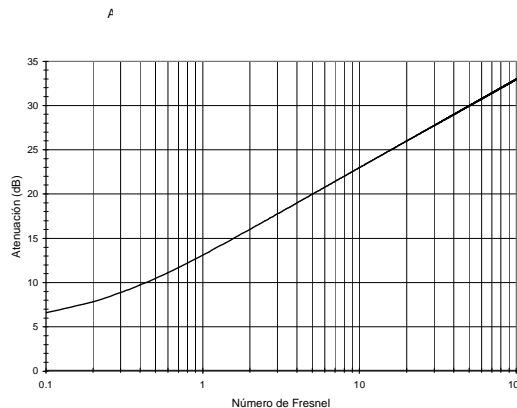


Figura 6. Atenuación sonora de pantallas acústicas modelo de Maekawa - Kurze

Su aplicación supone dos hipótesis de trabajo:

- 1) La atenuación de la pantalla como divisorio, es por lo menos 10 dB mayor que la resultante de la ecuación 4 a fin de desprestigiar el paso a través de ella. Puede implementarse una corrección en función del coeficiente de transmisión  $\tau$  propio del divisorio, junto con la influencia de su capacidad absorbente (Ivanov, Samoylov, Zyuzlikova, 1996).
- 2) La longitud de la pantalla es mucho mayor que su altura. Como regla práctica es suficiente como solución de compromiso que la relación sea 1:6.

Este modelo presenta incertezas apreciables cuando el sitio de evaluación se encuentra muy próximo a la línea de separación entre área “iluminada” y cono de penumbras. Una corrección a esta limitación se propuso en el reciente congreso Noise-Con 2000 (Menounou, 2000), que no quita la sencillez en el manejo del modelo original: la constante de la ecuación 4 (sumando igual a 5) se transforma en variable con valores desde  $-1$  hasta 5.

Las pantallas tienen como contrapartida a sus beneficios, la interrupción del campo visual de los vecinos a lo largo de la ruta, además de hacer muy monótono el entorno para conductores. Dado que la eficiencia de la pantalla depende en buena medida de su altura, es de sumo interés disminuirla. Una ventaja adicional de esta reducción, además del costo que involucra, es la menor necesidad de estructuras que soporten cargas de vientos, con reducciones adicionales de los costos.

En este sentido, se están desarrollando investigaciones acerca de la coronación de las pantallas mediante cumbreras que aumenten la eficiencia de las mismas. Todas tienen en común modificar la impedancia de manera de que las fuentes secundarias mencionadas más arriba, generen un menor nivel sonoro en el cono de penumbras y por lo tanto se comporte como una pantalla ordinaria de mayor altura (Möser, 1999).

Las formas que adoptan estas cumbreras están aún sujetas a estudio, como se señala en un reciente trabajo de ensayos de laboratorio publicado como parte de una tesis de grado realizada en Chile (Arenas y Monsalve, 2001).

Un sistema de pantallas con cumbreras fue aplicado con éxito para atenuación de los ruidos de transformadores eléctricos de potencia que afectaban a vecinos, dado la posibilidad de modificar esas cumbreras para adaptarlas a otros espectros de ruido diferentes a los del tránsito. En este caso particular, las principales fuentes son de los transformadores caracterizados por tonos de 100, 200 y 300 Hz y por los de banda ancha propios de los ventiladores de refrigeración.

Esas pantallas no sólo incluyeron cumbreras diseñadas para esos tonos de frecuencias bajas, sino además otras “cumbreras” ubicadas como remate en el filo inferior de las pantallas. Esto es debido a la necesidad de dejar un espacio inferior abierto para permitir el ingreso de aire de renovación que requieren los transformadores. La consecuente posible fuga de ruidos por dicha abertura, en particular de los ventiladores por su proximidad a esa abertura entre piso y pantalla, quedó reducida por tal diseño poco ortodoxo y posiblemente único según el autor de este tipo de cumbreras (Möser, 2000).

Este sistema, originalmente desarrollado para ruido ferroviario, permite modificarlo como se verificó en el tratamiento comentado, y de la misma manera adaptarlo para ruido de tránsito vehicular. Esta adaptación está actualmente en avance.

Las pantallas, además de poseer comportamiento aislante, deben también tener propiedades absorbentes de sonidos ya que pueden provocar un incremento del nivel sonoro



en la ruta al producirse reflexiones de los sonidos originados por los vehículos en las caras de las pantallas y generar un “efecto túnel” tal como sucede en el tren subterráneo. Además, la reflexión en una pantalla orienta al ruido hacia el lado opuesto, pudiendo superar la pantalla al otro lado de la ruta, si la hubiere.

Un tratamiento clásico es el compuesto por un material absorbente y una placa multiperforada como terminación vista. Esta placa no solo actúa como protección mecánica del material absorbente (lana de vidrio o mineral o poliuretano de celdas abiertas) sino que también permite modificar sus propiedades absorbentes aumentando su eficiencia en el rango de frecuencias medias y bajas, que son las de mayor interés en el ruido de tránsito (Schltz, 1986). La dependencia del coeficiente de absorción sonora de los materiales fibrosos (lanas de vidrio o roca) con sus parámetros fundamentales es simple de calcular (Giménez de Paz, 1988).

Una posible alternativa apta para ruido de tránsito, son los sistemas de placas metálicas con perforaciones redondas de diámetros entre 3 y 6 mm, con un área perforada menor del 15%, con el material absorbente fibroso de densidad entre 70 y 100 kg/m<sup>3</sup> junto o próximo a la placa, y una cámara de aire por detrás, separándola por no menos de 25 mm de la componente portante (pantalla aislante). Estos sistemas presentan como desventaja una posible vida útil limitada por degradación del material absorbente.

Una línea de trabajo que supera a esta limitación, es el sistema de placas microperforadas. Consiste en una dispersión de perforaciones submilimétricas que no requiere material fonoabsorbente adicional, ya que la placa cumple esa función por sí misma. Se trata también de un desarrollo reciente y se basa en la disminución de energía sonora generado por el paso de aire forzado por la diferencia de presión sonora a ambos lados de la placa microperforada (Dayou Ma, 1985). En la Figura 7 se muestra un esquema de tales placas con sus parámetros más importantes.

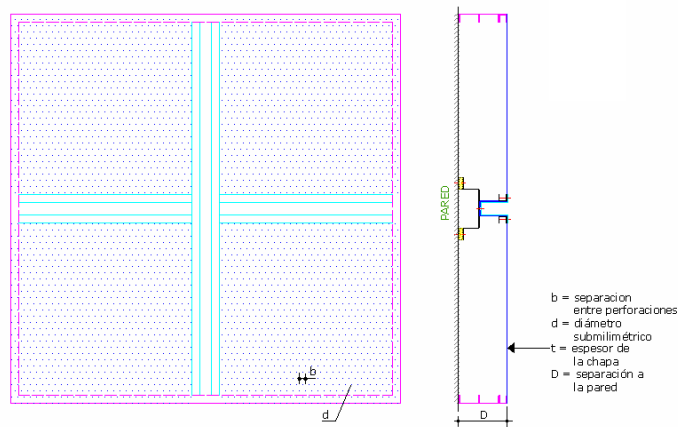


Figura 7. Esquema de placas con sus parámetros más importantes

El sistema no es simple para el cálculo predictivo, ya que el coeficiente de absorción sonora en función de la frecuencia depende de los diámetros de las perforaciones, espesor de placa, separación y distribución entre perforaciones, cámara de aire por detrás de la placa, viscosidad cinemática y densidad del aire, espesor de la capa límite y velocidad del sonido.

### 2.3. Barreras de Hormigón

Uno de los sistemas que más tiende a difundirse debido a los bajos costos involucrados, lo simple del concepto básico y a lo probado de su capacidad aislante, es el de muros de hormigón, tanto ejecutados “in situ” como con placas prefabricadas. La alta capacidad aislante tiene como contrapartida su baja capacidad absorbente, por lo que debe complementarse con un tratamiento adicional.

Trabajos a escala reducida efectuados en laboratorio muestran la posibilidad de darle formas a una de sus caras (lado ruta) de manera de generar cavidades, protuberancias u otro tipo de discontinuidades superficiales que por un lado evitan la reflexión especular, generando difusión y por otro, admiten alojar tratamientos absorbentes en los rangos medios de frecuencias propias del ruido de tránsito (Fahy y otros, 1995)

Una perspectiva más interesante es la posibilidad de emplear barreras sólo de hormigones que además de brindar aislación, presenten por sí mismo capacidad absorbente en una de sus caras (lado ruta). El uso de agregado, compuesto por materiales absorbentes fibroso y/o porosos, (por ejemplo, poliuretano, lana de vidrio, roca, microperforada, etc.) con las técnicas tradicionales brinden ese objetivo, tal como se comentó más arriba para otro tipo de estructura portante y aislante. La tendencia es superar este tipo de tratamiento.

Las características que debe presentar todo material poroso (poros intercomunicados) son:

- Porosidad  $\sigma$  (fracción de volumen hueco)
- Tortuosidad  $\chi$  (estructura interior que afecta el paso de sonido, aumentando la velocidad de las “partículas de aire”)
- Resistencia al flujo de aire  $\Xi$  (oposición al paso de sonido en el material);  $[\Xi] = \text{N.s/m}^4$  para la resistencia específica al flujo por unidad de espesor y  $[W] = \text{N.s/m}^3$  para el coeficiente de resistencia al flujo ( $W = \Xi \times d$ , siendo  $d$  el espesor del material)). La relación entre este último parámetro con la densidad y espesor de un material fibroso tiene formas matemáticas sencillas (Giménez de Paz, 1984).

Para que el material pueda disipar energía sonora en otra forma no acústica de energía, debe poder ingresar a su interior. Esta posibilidad está dada por su impedancia como parámetro de superficie que define la penetración del sonido al incidir desde el aire libre. Una combinación deseada es que posea una impedancia igual a la del aire y un valor elevado de resistencia al flujo.

Quedan fuera de esta categoría los hormigones aireados dado que por tener sus poros cerrados no puede presentar estas propiedades acústicas al no permitir el paso de aire. Por otro lado, su menor densidad lo hacen menos aislantes que los hormigones más densos de igual espesor.

Para frecuencias medias o bajas, la absorción del material depende principalmente de la resistencia al flujo y de la compresión del aire dentro de los poros. El coeficiente  $\alpha_s$  para incidencia de sonido al azar está relacionado con la resistencia al flujo a través del parámetro adimensional  $\nu$  (Cremer y Muller, 1982), según la ecuación 6.

$$\alpha_s = 5,6\sqrt{\nu} \left[ 1 - 0,7\sqrt{\nu} \ln\left(\frac{1}{\nu}\right) \right]$$

(6)

$$\nu = \frac{2\pi f \rho \kappa \sigma}{\Xi}$$

Donde:

$f$  (en Hz) es la frecuencia,  $\rho$  la densidad del aire (aprox.  $1,2 \text{ kg/m}^3$ );  $\kappa$  la relación entre calores

específicos (1,4), y  $\sigma$  el factor de porosidad (Valores típicos: lana de vidrio, >0,94; estuco poroso, 0,60-0,65; ladrillo común, 0,25-0,30) . En la Figura 8 está graficada esta curva universal.

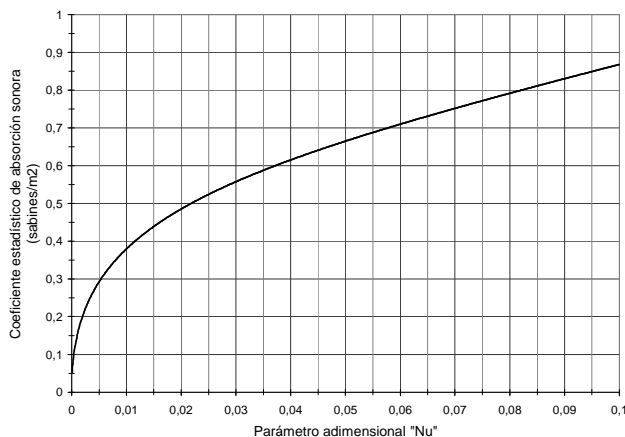


Figura 8. Curva universal de absorción sonora

Debe advertirse sin embargo, que esta transferencia de energía se aplica sólo a la fracción que haya penetrado al interior del material, lo que queda limitado por la relación de impedancias del material con la característica del aire ( $\rho c \approx 408 \text{ N.s/m}^3$ ). Como la impedancia se relaciona con la resistencia al flujo en forma monótona, y ésta en forma inversa con el parámetro  $\nu$ , resulta que a mayor resistencia corresponde una mayor impedancia y de ahí una mayor desadaptación con la característica del aire, generando una mayor reflexión superficial y con ello una menor cantidad de energía sonora que penetra en el material.

Si la pantalla estuviera ejecutada con un hormigón poroso, puede lograrse que sea absorbente al precio de una menor capacidad aislante, a menos que se empleen espesores de varios centímetros, lo que implica mayores costos en contra del interés de emplear estos sistemas constructivos. Dentro de estas posibilidades, en la Figura 9 se muestra la absorción sonora de placas de piedra pómez.

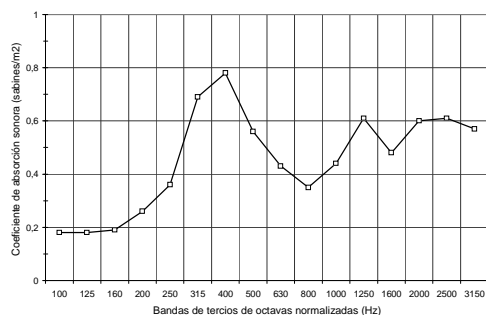


Figura 9. Placa de piedra Pómez de 11cm, con su cara opuesta impermeabilizada

Debe entonces emplearse este tipo de hormigones como una capa aplicada sobre una estructura aislante (hormigón no poroso), para obtener ambas propiedades. En este caso, el

espesor  $d$  (en cm) que se requiere, depende de las propiedades básicas del material según la ecuación 7, debiendo cumplir con la condición de mínima:

$$d > \frac{28500}{\sqrt{\Xi \sigma f}} \quad (7)$$

En consecuencia, el material debe tener una adecuada resistencia específica al flujo combinada con su porosidad.

Así para la frecuencia  $f = 500$  Hz, se dispone un espesor de 2 cm ( $d = 2 \times 2$  cm = 4 cm por el camino de ida y regreso al reflejarse en el hormigón aislante), se requerirá que se cumpla  $\Xi \sigma > 100\,000$  N s m<sup>-4</sup>. Como comparación, las lanas de vidrio usuales con densidades entre 25 y 35 kg/m<sup>3</sup>, tienen valores entre 15 000 y 20 000 N s m<sup>-4</sup>.

Por otro lado, como se requiere que su impedancia sea baja para mejor penetración del sonido dentro del material, se debe adoptar como solución de compromiso, que su valor esté en el orden de 2 a 4 veces la del aire.

Trabajos ya con cierta antigüedad concluyen que un hormigón poroso como el ejemplo citado, con sólo una capa impermeable de poco espesor en su cara posterior, permite mantener la capacidad absorbente del material y recuperar un alto porcentaje de aislación sonora (Hajek, 1985). Basado en el mismo trabajo, se reproduce en la Figura 10 la variación del coeficiente de absorción sonora con el espesor de un producto comercial con porosidad del 50%, una resistencia al flujo específica de 30 000 N s m<sup>-4</sup> y tortuosidad de 7,5. Las mediciones se efectuaron por el método del tubo (incidencia normal sobre la muestra) y calculando un coeficiente de absorción sonora muy poco usual: valor compensado en la escala A. No obstante permite visualizar los espesores típicos involucrados, concluyendo para este caso, que no se requiere un espesor mayor de 5 cm del material.

Existe también una tendencia casi natural a emplear barreras verdes naturales dado su aceptación estética universal, su bajo costo inicial y de mantenimiento y una innecesaria ingeniería acústica, al precio de un tiempo más o menos prolongado de crecimiento según la especie seleccionada. Lamentablemente el precio es algo mayor, ya que como se sabe desde hace años, no se logran atenuaciones apreciables a menos de contar con anchos de la línea de árboles de por lo menos 30 m, de hoja permanente y suficientemente próximos unos a otros. En tales casos, la atenuación es fuertemente dependiente del tipo de árbol (Embleton, 1963). En caso contrario, la contribución acústica es sólo de orden psicológico.

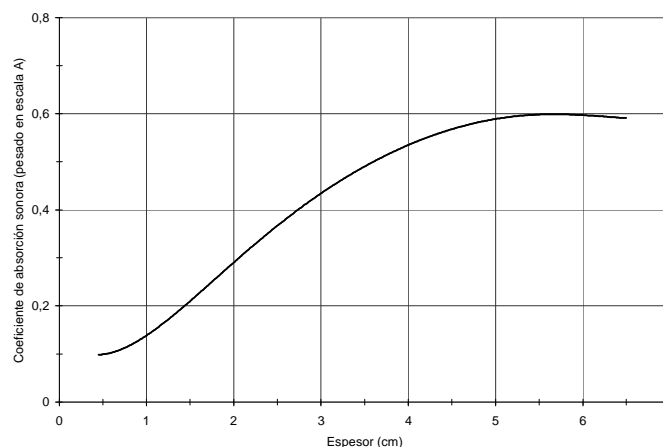


Figura 10. Variación de la Absorción con el Espesor de un material poroso

### 3. PLANTEO DE OBJETIVOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Un tema que debe tenerse en claro, es el planteo de los objetivos acústicos a cumplir y la forma de su verificación dentro de las limitaciones apuntadas antes. En general las reglamentaciones sobre limitaciones en la inmisión sonora en vecindarios, tienen en cuenta al ruido generado por fuentes fijas, y son menos las que incluyen ruido de tránsito (vehicular, ferroviario y/o aéreo).

Entre estas últimas está la adoptada para la inmisión sonora en las viviendas próximas a la traza de la Autopista Acceso Sur Santiago: Reglamento de la Confederación Suiza 814.41 sobre la protección contra el ruido del 15 de diciembre 1986 (Estado el 1<sup>ro</sup> de Enero 1996).

Una vez adoptada la legislación o normativa más adecuada, queda de todas maneras el problema de las mediciones de control para reconocer la eficiencia de las pantallas ejecutadas. El parámetro que se emplea es el llamado pérdida por inserción (Insertion Loss, IL) que consiste en medir el nivel sonoro en el mismo sitio de control, con y sin la pantalla instalada. Esto difiere del índice de reducción acústica de aplicación para divisorios, adoptado por la normativa internacional (ISO 140), que consiste en medir el nivel sonoro a uno y otro lado de la pantalla.

Forma parte del diseño de una pantalla su medición en laboratorio, a escala reducida o real, como metodología para prever su comportamiento. Se emplea una cámara anecoica: recinto en el que sus contornos tienen una elevada capacidad de absorción sonora, o lo que es lo mismo, está libre de reflexiones. Esta condición representa la de espacio libre, tal como una pantalla en su condición real de uso.

Respetando las mismas condiciones ambientales dentro de la cámara, se miden los niveles sonoros uno inmediatamente luego del otro y así se define la pérdida por inserción.

Tales condiciones no suceden en el campo, ya que la ejecución de las pantallas tiene un tiempo más o menos prolongado durante el cual pueden producirse cambios en las condiciones ambientales no controlables y en las de ruido de fondo. En el caso particular del tránsito es poco probable que se repita para unas y otras mediciones las mismas condiciones acústicas del tránsito. En este sentido, resulta más complicado determinar un valor de pérdida por inserción como calificación final del comportamiento de las pantallas, debiendo en todo caso, fijarse una banda entre valores máximos y mínimos más probables entre los que se encontrará la atenuación lograda.

No obstante que siempre debe tratarse de medir los resultados, es recomendable consultar a los vecinos para quienes se ejecutan las pantallas acerca de las mejoras logradas, ya que son ellos los que disponen de “información” (subjetiva) de largo plazo, pudiendo dar opinión sobre esas mejoras. Esto siempre y cuando no haya prejuicios o animosidades por parte de ellos por razones ajenas al problema acústico: Interés por resarcimientos, interés en la venta de su vivienda, problemas estéticos u otros ajenos a la evaluación acústica pura.

El autor puede dar pruebas de estas situaciones especiales en un caso en el que la ejecución de la pantalla se demoró dos años, debiendo comparar valores medidos con ese intervalo, con cambios notorios en el panorama sonoro de la zona (Giménez de Paz y Osorio, 1999).

Otro punto interesante en el aspecto de la evaluación, es el caso en que la ruta es inexistente y debe preverse tanto el ruido que originará en tránsito previsto, como la de la protección acústica de la pantalla. El uso de programas comerciales reconocidos en el

mercado (p.e. Sysnoise, Mithra, Snap, Stamida, etc.), tiene el problema particular de que sus errores de incerteza no están acotados. Todo modelo que corre en ordenadores tiene el enorme atractivo de dar valores de nivel sonoro atenuados por pantallas en cantidad y tiempo imposible de obtener por otro camino.

Esta indudable ventaja presenta como contrapartida que los errores son desconocidos para el operador cuando, como normalmente sucede, no es su creador. Como el uso de estos programas predictivos se han generalizado también en acústica arquitectónica y de salas, se han desarrollado los llamados “Round Robin” liderados por el Instituto Federal de Física Técnica de la República Federal Alemania (PTB), en el que se comparan valores medidos con los provistos por programas comerciales, habiéndose obtenido una gran dispersión no prevista por los operadores de los programas, en el caso de tratamiento acústico de salas (Giménez de Paz, 1999).

Con la misma orientación, se está desarrollando un estudio similar para pantallas y ruido de carreteras en el Institute of Sound and Vibration Research (ISVR, Universidad de Southampton, UK); (Gaja Díaz, 2001).

#### 4. CONCLUSIONES

Si bien está claro que los ruidos originados por la actividad urbana originan perturbaciones en sus ciudadanos, no existe un criterio universalmente aceptado del parámetro acústico más representativo de la agresión sonora ni su relación cuantitativa con la reacción comunitaria.

El ruido de tránsito vehicular es una de las principales fuentes de ruido urbano lo que origina el desarrollo de técnicas para su mitigación, siendo las pantallas acústicas el sistema más generalizado para ello. Actualmente se desarrollan innovaciones para hacerlas más efectivas y disminuir sus aspectos negativos relacionados con la estética, la disminución del campo visual y costos entre otros.

Puede esperarse según ubicaciones, tamaños y materiales, atenuaciones medidas como pérdidas por inserción entre 5 y 15 dBA, pudiendo considerarse a las mayores a 10 dBA como éxitos que merecen reconocimiento.

#### 5. REFERENCIAS

- ARENAS, J.P. Y MONSALVE, A.M. (2001), “Modification of the Diffracted Sound Field by Some Noise Barrier Edge Design”. IJAV, Vol 6, N° 2, 76-82
- AYLOR, D. (1971) “Noise Reduction by Vegetation and Ground”. J.Acoust.Soc.Am., 51, 197-205.
- CREMER L. Y MÜLLER, H. (1982), “Principles And Applications Of Room Acoustics” Applied Science Publ. (Londres), Vol.1, Capítulo II.6.
- CROCKER, M.J. (EDITOR) (1997), “Encyclopedia Of Acoustics”, Volumen 2, Parte VIII, pgs 943 y ss. John Wiley & Sons, Inc., N.York.
- DAYOU, M A (1985), “Wide-band sound absorber based on Microperforated panels”. Chinese J.Ac., 4, 197-208 y trabajos posteriores (varios en idioma original).
- EBERHARDT, J.L. STRALE L. O., BERLIN, M. H. (1987), “The influence of continuous and intermittent traffic noise on sleep”. J.Sound Vibr. 116, 445-464. Con 84 referencias para ampliar temas de fisiología y acústica fisiológica hasta 1987.
- EMBLETON, T.F.W. (1963), “Sound Propagation in Homogeneous Deciduous and Evergreen Woods”. J.Acoust.Soc.Am., 1119-1125.
- FAHY F.J., RAMBLE, D. G., WALKER, J. G. (1995), “Development of a Novel Modular

- Form of Sound Absorbent Facing for Traffic Noise Barriers” Appl.Ac., 44, 39-51.
- GAJA DÍAZ E. (2001), Universidad Politécnica de Valencia (Comunicación privada).
- GIMÉNEZ DE PAZ, J.C. (1988), “Materiales fonoabsorbentes porosos: Modelo predictivo”.  
Mapfre Seguridad (España) N° 32, 37-42.
- GIMÉNEZ DE PAZ, J.C. (1984), “Resistencia al flujo de aire de materiales porosos”. Carta  
Metrológica (Sistema Interamericano de Metrología) N°6, 85-98.
- GIMÉNEZ DE PAZ, J.C. Y OSORIO, R. (1999), “Pantallas acústicas. Fundamentos y su  
aplicación a un caso real”. Encuentro Chileno de Acústica. Valdivia.
- GIMÉNEZ DE PAZ J.C., (1999), “Programa de simulación por computadora: una visión  
crítica”. Encuentro Chileno de Acústica. Valparaíso (1999)
- HAJEK, J.J. (1985), “Improving sound-absorption properties of porous concrete materials”.  
Canadian Acoustics, 12, 39-47.
- IVANOV, N.I., SAMOYLOV, M.M. Y ZYUZLIKOVA, N.V., (1996), “Efficiency of  
conformable acoustical shields”. 4<sup>th</sup> Int.Congress on Sound and Vibration (San  
Petersburgo), Proceedings, pgs. 1193-1199
- JOB, R.F.S. HATFIELD, J., CARTER, N. L., PEPLOE, P., TAYLOR, R., MORRELL, S.  
(2001), “General scales of community reaction to noise (dissatisfaction and  
perceived affectedness) are more reliable than scales of annoyance”.  
J.Acoust.Soc.Am., 110, 939-946.
- KRYTER, K.D. (1985), “The Effects Of Noise On Man” Academic Press, Inc. (Orlando,  
USA), 2<sup>a</sup> edición Cap.11
- KURZE, U.J. Y ANDERSON, G.S. (1971), “Sound attenuation by barriers”, Applied  
Acoustics, 4, 35-53
- MAEKAWA, Z. (1968), “Noise reduction by screens”. Applied Acoustics, 1, 157-173
- MENOUNOU, P. (2000), “ A Correction to Maekawa’s curve for the insertion loss behind  
noise barriers”. Noise-Con 2000.
- MIEDEMA, H.M.E. Y VOS, H. (1999), “Demographic and attitudinal factors that modify  
annoyance from transportation noise”. J.Acoust.Soc.Am., 105, 3336-3344.
- MÖSER, M. (1999), “Improvement of sound barriers using headpieces with finite acoustic  
impedance”. J.Acoust. Soc.Am., 106, 3049-3060.
- MÖSER, M. (2000), TU Berlin, comunicación personal.
- SCHULTZ, T.J. (1977), “Synthesis Of Social Surveys On Noise Annoyance” Bolt Beranek  
and Newman Inc.
- SCHULTZ, T.J. (1977), “Synthesis of Social Surveys on Annoyance Due to Noise”. 9<sup>th</sup>  
Internacional Congress on Acoustics. (Madrid)
- SCHULTZ, T.J. (1986), “Acoustics Uses For Perforated Metals. Principles And  
Applications”. Industrial Perforators Asoc., Inc.
- TANG, S.K. Y AU, W.H. (1999), “Statistical structures of indoor traffic noise in a high-rise  
city”. J.Acoust. Soc.Am., 106, 3415-3423.
- TOMONAO, T. Y FUJIWARA, K. (1999), “Efficiency of a noise barrier with acoustically  
soft cylindrical edge for practical use”. J.Acoust. Soc.Am., 105, 3326-3335.
- US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1995), “Highway Traffic Noise Analysis and  
Abatement Policy and Guidance”. (Washington).

**Juan C. Giménez de Paz**  
*Licenciado en Ciencias Físicas*  
*Presidente*  
*Decibel Sudamericana S.A*  
*Haedo, Argentina*

*Graduate in Physical Sciences*  
*President*  
*Decibel Sudamericana S.A*  
*Haedo, Argentina*  
*gidepaz@decibel.com.ar*