

Medición de niveles de ruido en los subterráneos de Buenos Aires

Ing. Horacio E Cristiani

Mutualidad Argentina de Hipoacúsicos

Buenos Aires, septiembre de 2013

Introducción

Se calcula que diariamente más de 1,7 millones de personas utilizan el Subterráneo en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Este medio de transporte constituye una forma moderna de dar satisfacción a las necesidades de las grandes poblaciones urbanas, que busca por un lado aliviar el tránsito de vehículos por la vía pública en superficie, a la vez que utiliza energía eléctrica para la tracción, constituyéndose así en una forma de viajar amigable con el medio ambiente.

La red de Subterráneos de Buenos Aires consta de 6 líneas (A; B; C; D; E y H) y tiene una extensión total de 50 Km. Posee 81 estaciones operativas. Fue inaugurada el 1 de diciembre de 1913, siendo la primera red de subterráneos de América Latina.

Las recientes expansiones de la red de subterráneos incorporan nuevos usuarios. Según la empresa Metrovías S.A., en 2011 utilizaron el servicio 310 millones de personas. En la Fig.1 puede verse la distribución de pasajeros pagos en las 6 líneas de subte en el año 2011.

Son ampliamente conocidos y difundidos los daños que niveles y exposiciones al ruido inadecuadas producen al sistema auditivo. Sin embargo son menos comentados los trastornos que el ruido puede traer a la salud en otros aspectos, como en el sistema cardiovascular, la presión sanguínea, ritmos cardíaco y respiratorio y en el sistema nervioso central. Se han reportado casos de problemas de estrés y falta de concentración debidos a la exposición al ruido, aún a niveles que no resultan nocivos para la audición en sí misma. El ruido trae efectos adversos en los aspectos psicológico, biológico, inmunológico y hormonal del ser humano.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio sobre los niveles de ruido en las distintas líneas de subterráneos de la Ciudad de Buenos Aires, tratando de comprender las variables que inciden en las diferencias de nivel observadas y

aportar ideas para futuras mejoras a incorporar en las distintas líneas de dicha red.

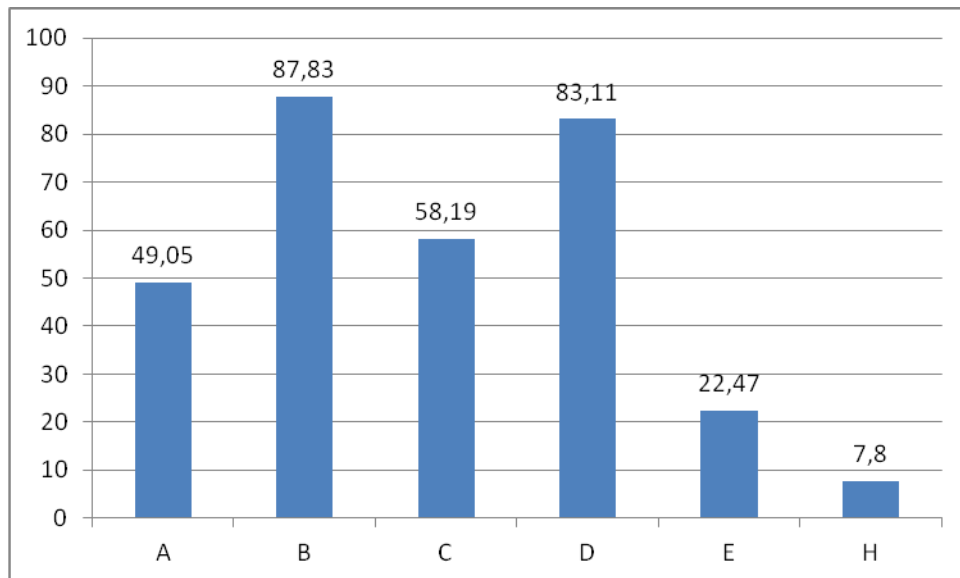


Fig.1 Cantidad de pasajeros en las líneas del Subterráneo de Buenos Aires en 2011 (EXPRESADO EN MILLONES DE PASAJEROS)

Este primer estudio se limitó exclusivamente a la medición de los niveles de ruido en el interior de los vagones de los subtes de las distintas líneas. Las mediciones fueron efectuadas entre los meses de julio y septiembre de 2013, en días laborables y en horarios entre las 11:00 Am y 13:00 AM. Se ha dejado para una etapa posterior la medición de los niveles de ruido en los andenes de las estaciones.

La polución sonora es una realidad a la que muchos subestiman por diferentes motivos. Desde hace varias décadas, esta consecuencia del progreso de la humanidad viene instalándose en nuestra vida, y la sensación es que podemos hacer muy poco para evitarlo. En cuanto al ruido ocupacional, que afecta a los trabajadores de la industria es algo muy estudiado durante décadas. Recientes trabajos nos alertan sobre el uso masivo de sistemas de reproducción de audio personales, como MP3, IPOD y otros. También se ha realizado estudios importantes en el país sobre lo que se llama Ruido Recreacional, es decir el ruido que resulta de la asistencia a recitales, shows en vivo, locales para baile etc.

Pero también se han estudiado los efectos adversos de la exposición al ruido en la elevación del colesterol, triglicéridos (Nagat y Risk, 2001) y elevación de la presión sanguínea.

Según algunos autores, (Stansfeld, 1998), se identifican los siguientes grupos de efectos adversos para la salud en los que el ruido influiría, ellos son: disturbios en el sueño, baja en el rendimiento, enfermedades cardíacas, trastornos fetales y de la niñez, desórdenes psiquiátricos, problemas auditivos, problemas endócrinos, irritabilidad.

Material y método

Se realizaron las mediciones de Nivel sonoro continuo equivalente en dBA en horarios entre las 11:00 AM y las 4 PM, entre los meses de julio y septiembre de 2013, en las líneas A; B;C;D;E y H de los subterráneos de Buenos Aires en el interior de vagones de los mismos, ubicados en la parte media de la formación. Los vagones tenían un grado de ocupación normal para la hora considerada. Se utilizó un medidor de nivel de presión sonora marca Cirrus Research, modelo 162-C. Los resultados de las distintas mediciones fueron procesados con el software NoiseTools ® del mismo fabricante y se procesaron también los datos con la planilla de cálculo Excel de Microsoft para obtener algunos índices con el objeto de efectuar comparaciones con estándares internacionales.

Resultados y discusión

Con el fin de obtener una idea general de los niveles de ruido existentes en el interior de los vagones, y tener una primera aproximación a las diferencias entre las distintas líneas se muestra en la Tabla 1 el resultado de los valores de Leq (dBA) de los distintos trayectos realizados. La columna siguiente LAFMAX, muestra los valores máximos para cada línea, siempre en dBA.

Como puede verse, el promedio general es de 81,17 dBA, pero se encuentran importantes diferencias entre las diferentes líneas, y aun entre los trayectos diferentes de una misma línea. Nótese la importante diferencia registrada entre la línea C (Trayecto Av. De Mayo- Constitución) y la línea A (trayecto Carabobo-Congreso). Entre ambas situaciones existe una diferencia de 20 dBA.

LINEA	TRAYECTO	Leq (dBA)	LAFMAX (dBA)
A	SAENZ PEÑA - CARABOBO	76,1	88,5
A	CARABOBO- CONGRESO	69,7	84,2
B	CALLAO- J.M. DE ROSAS	83	95,2
B	J.M. DE ROSAS - CALLAO	78,1	96,4
C	AV. DE MAYO-CONSTITUCIÓN	89,6	102,5
C	CONSTITUCIÓN - DIAGONAL NORTE	82,7	92,3
D	CALLAO CONGRESO	81	98,5
D	CONGRESO TRIBUNALES	77,5	96,3
E	BOLIVAR PZA. VIRREYES	84,3	95,9
E	P VIRREYES JUJUY	86,9	95,1
H	HOSPITALES CORRIENTE	81,1	94,1
H	HUMBERTO 1º HOSPITALES	84,1	94,1
	PROMEDIO GENERAL	81,175	

Tabla 1. Valores de Leq y de LFMAX medidos en los diferentes recorridos

Se puede ver claramente una diferencia importante entre los valores registrados en la línea A en los trayectos analizados. El factor determinante de esta diferencia radica en que en el tramo Sáenz Peña – Carabobo se trataba de una unidad más antigua, sin aire acondicionado y con las ventanillas abiertas, mientras que en el tramo Carabobo- Congreso estamos ante las unidades nuevas, recientemente incorporadas al servicio, con aire acondicionado y las ventanillas cerradas.

También si analizamos los valores máximos, notamos un nivel muy elevado en la línea C, en el mismo recorrido Retiro- Constitución.

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio para cada línea, considerando ambos trayectos.

LINEA	Leqprom	LAFMAXprom
A	72,9	86,35
B	80,55	95,8
C	86,15	97,4
D	79,25	97,4
E	85,6	95,5
H	82,6	94,1

Tabla 2. Valores de Leq y de LFMAX medidos en las seis líneas

Esto puede verse también en forma gráfica en la Fig. 2, donde se muestran los valores promedio de LAeq en dBA para cada línea.

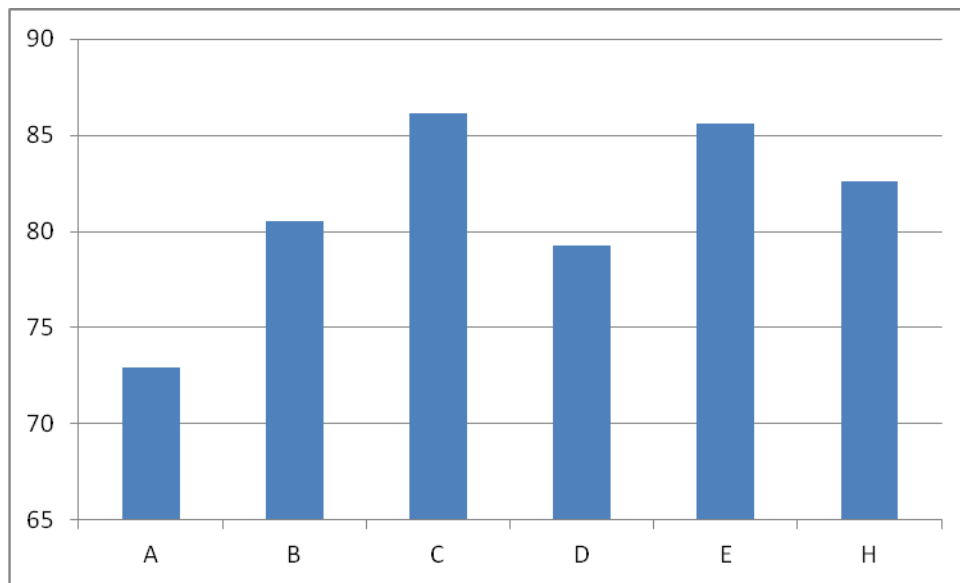


Fig. 2 . Valores de Leq en dBA para las seis líneas de subte

Nótese otra vez la importante diferencia entre la línea A y el resto de las líneas, en particular las C y E, que resultan tener los valores más elevados de Leq promedio durante toda la medición.

En la Fig. 3 se muestra el detalle de los valores medidos de LAeq en un tramo de la línea C, entre las estaciones Constitución y Diagonal Norte.



Fig. 3 Leq (dBA) entre las estaciones Constitución y Diagonal Norte (línea C)

Se notan claramente los intervalos de tiempo correspondientes al movimiento entre estaciones, donde L_{eq} toma los valores máximos, y los correspondientes a las detenciones en las estaciones, donde se registran los niveles mínimos. También en estas detenciones tiene lugar la señal de alarma, sirena de alto nivel sonoro, que se observa como un pico en cada una de las estaciones. En este caso los niveles de la sirena no sobrepasan los niveles máximos de ruido durante los trayectos en movimiento.

En la Fig. 4 se muestra el detalle de los valores registrados en el tramo de la línea D entre Congreso de Tucumán y Tribunales. Aquí claramente se notan los elevados niveles de la señal sonora de alarma, que superan a los niveles máximos registrados durante el movimiento del subte.

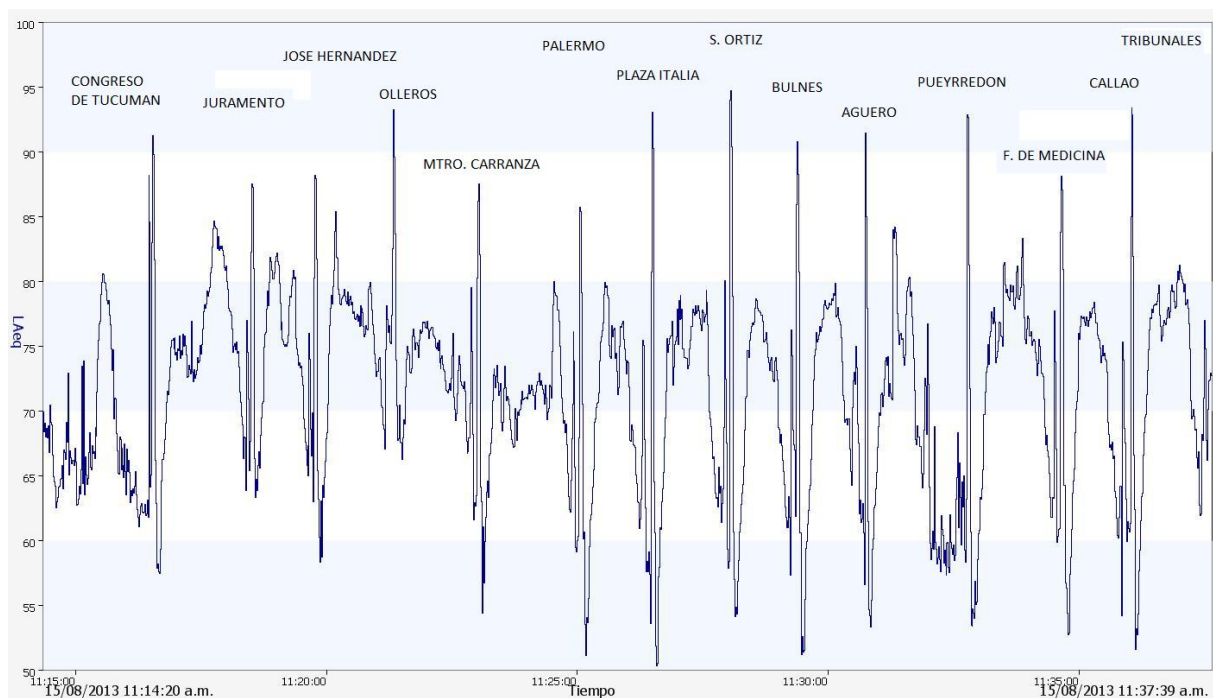


Fig. 4 L_{eq} (dBA) entre las estaciones Congreso de Tucumán y Tribunales (línea D)

Tomando como base el trabajo de Mostafa E Aly (2004) que figura en las referencias se busca comparar los niveles obtenidos con los criterios establecidos por el US Department of Housing and Urban Development (HUD). Este criterio establece escalas de aceptabilidad para los distintos valores de ruido (HUD 1971, 1985). Para ello se utilizan los niveles percentiles L_n como descriptores.

Antes de definir los límites de estos criterios es necesario aclarar cierta nomenclatura a utilizarse en lo que sigue:

- L_1 representa los niveles máximos del evento sonoro. Son los eventos presentes en alrededor del 1% de las muestras obtenidas.
- L_{10} es el índice que representa el nivel excedido durante el 10% del tiempo de medición
- L_{90} representa el nivel de ruido excedido durante el 90% de la medición
- L_{99} es el nivel de ruido de fondo, que representa el menor nivel de ruido durante el período de medición. Representa el nivel superado durante el 99% de la medición.
- L_{eq} , Nivel sonoro continuo equivalente, expresado en dBA, viene dado por la fórmula:

$$L_{eq} = 10 \text{ Log } \frac{1}{T} \int_0^t \left(\frac{p_e}{p_{ref}} \right)^2$$

En esta expresión, p_e es el valor de la presión eficaz del ruido que se está midiendo y p_{ref} es la presión de referencia, ambas en unidades de presión.

- El Índice de Polución Sonora (LNP) se calcula según la fórmula de Don & Rees (1985), en base a la siguiente fórmula:

$$LNP = L_{eq} + 2,56\sigma$$

En donde σ es la desviación estándar de los valores tomados en las muestras.

Los listados siguientes muestran los valores especificados por la HUD para los índices L_1 ; L_{99} y LNP y su grado de aceptación como ruidos urbanos provenientes de fuentes que no sean aeronaves. Establece 4 niveles:

- Claramente inaceptable
- Normalmente inaceptable
- Normalmente aceptable
- Claramente inaceptable.

El criterio para L_1 es:

$L_1 < 63,5$ dBA es claramente aceptable

$63,5$ dBA $< L_1 < 73,5$ dBA es normalmente aceptable

$73,5$ dBA $< L_1 < 86$ dBA es normalmente inaceptable

$L_1 > 86$ dBA es claramente inaceptable

El criterio para L_{99} es:

$L_{99} < 35$ dBA es claramente aceptable

35 dBA $< L_{99} < 53$ dBA es normalmente aceptable

53 dBA $< L_{99} < 68$ dBA es normalmente inaceptable

$L_{99} > 68$ dBA es claramente inaceptable

El criterio para LNP es:

LNP < 58 dBA es claramente aceptable

58 dBA $< LNP < 73$ dBA es normalmente aceptable

73 dBA $< LNP < 88$ dBA es normalmente inaceptable

LNP > 88 dBA es claramente inaceptable

La Fig. 5 muestra el índice de nivel de ruido de fondo para las seis líneas de subte calculado como promedio de los tramos donde se realizó la medición

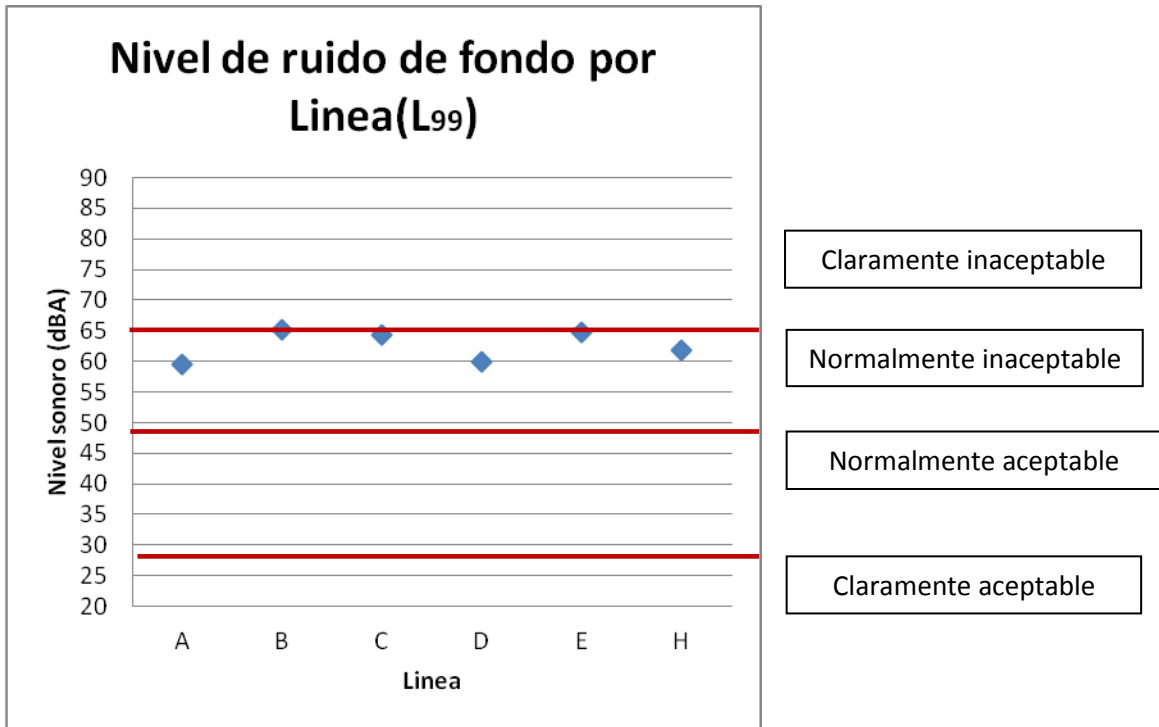


Fig. 5. Valores de L_{99} en dBA para las seis líneas de subte

Se observa que todas las líneas entran en el rango de "normalmente inaceptable" aunque se pueden detectar diferencias considerables entre las líneas A y D y las líneas B y C.

La Fig. 6 muestra los valores de L_1 para las seis líneas de subte

Nuevamente en este caso vemos que todas las líneas, con excepción de la línea A se encuentran en la zona definida como "claramente inaceptable". Mientras las líneas B; D; E y H se encuentran en valores bastante cercanos entre sí, la línea C presenta un valor mayor. Y la línea A entra dentro de la zona que se ha definido como "normalmente inaceptable" en este criterio.

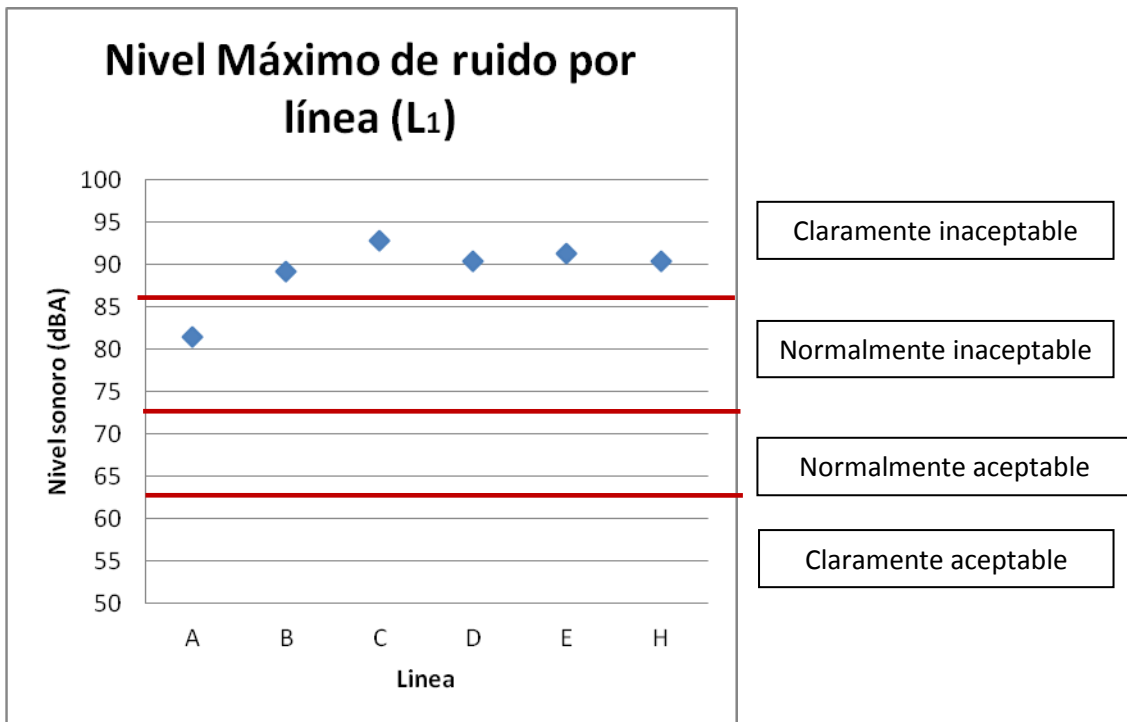


Fig. 6. Valores de L₁ en dBA para las seis líneas de subte

El concepto del índice de polución sonora (LNP) incorpora la influencia de la desviación estándar de los valores observados durante la medición. En consecuencia, este índice tiene en cuenta la desviación respecto a la media en las observaciones realizadas. A mayor cantidad y magnitud de las variaciones mayor resulta en LNP.

La Fig. 7 muestra los valores de LNP para las seis líneas de subte y su comparación con el criterio de USHUD.

Otra vez vemos que se repite la situación vista anteriormente: sólo la línea A entra dentro de la zona normalmente inaceptable, mientras, claramente la línea C se encuentra como la más perjudicada en cuanto a este índice.

El hecho fundamental que permite comprender esa diferencia notable del nivel de ruido en el interior de los subterráneos de la línea A tiene que ver con la incorporación de vagones nuevos en dicha línea, ocurrido durante el primer trimestre de 2013. Estos vagones cuentan con aire acondicionado, hecho que permite mantener las ventanillas cerradas, con la consiguiente atenuación sonora de los ruidos de contacto de las ruedas con las vías. Fue muy notable la diferencia entre los tramos Carabobo- Congreso y Sáenz Peña – Carabobo, ya que el primero de ellos se realizó en un vagón moderno y el segundo en un vagón con cierta antigüedad.

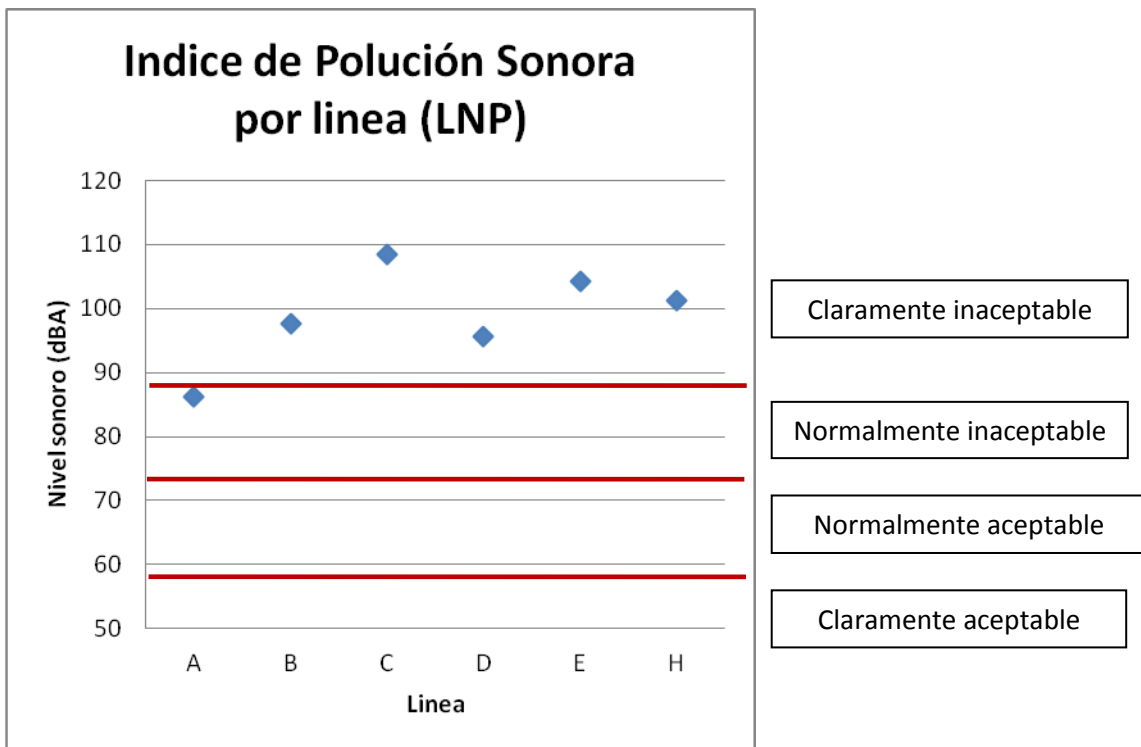


Fig. 7. Valores de LNP en dBA para las seis líneas de subte

Si nos guiamos exclusivamente por este índice de polución sonora (LNP) podemos ordenar de manera creciente las líneas de subterráneo de la Ciudad de Buenos Aires de la siguiente manera:

A D B H E C

Conclusiones

La incorporación de vagones de última generación, con sistemas de aire acondicionado trae importantes beneficios a los pasajeros, en términos de reducción de ruido. La reposición de los vagones, si bien es un proceso económicamente difícil, redundará en una mejor calidad de vida de los pasajeros que utilizan diariamente este medio de transporte.

Quizás una consecuencia que también debería tenerse en cuenta de los elevados niveles de ruido registrados tiene que ver con una costumbre muy arraigada entre los pasajeros: el uso de sistemas de reproducción de audio personal (dispositivos que reproducen archivos de formato MP3, como el IPOD, los teléfonos celulares u otros similares). El hecho de utilizar estos dispositivos en lugares con elevado nivel de ruido ambiente, obliga a los usuarios a elevar el volumen a niveles suficientes para aislarse lo suficiente de ese ambiente que

interfiere con la música o el habla que se desea escuchar. Aquí es donde este elevado nivel de ruido dentro del subte si bien en sí mismo no alcanza en la mayoría de los casos para generar un daño auditivo, puede sin embargo provocar que el uso de dispositivos portátiles de reproducción de audio se haga volúmenes mayores de lo aceptable.

El ruido en la parte exterior al vagón está generado por múltiples factores, tiene componentes electromecánicos y aerodinámicos, que son reflejados por las paredes de los túneles. La particular forma de "medio cilindro" de los túneles de subterráneo refleja el sonido de cualquier fuente en esta superficie hacia el eje central, que es precisamente por donde circula el subterráneo. A estos sonidos del tren en movimiento, se suman los que tienen como origen la aplicación de los frenos en cada estación y las alarmas sonoras (sirena) para apertura y cierre de puertas. Los materiales de revestimiento de las paredes de las estaciones y de los túneles en sí mismos distan mucho de ser absorbentes.

En particular, la línea C ha sido objeto de varios estudios sobre contaminación sonora, entre los que vale destacar el realizado por la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF) dirigido por el Prof. Florent Masson, presentado en el Congreso Internacional de Acústica en el año 2010. El problema es de larga data en esta línea, y si bien como hemos visto, se trata del peor caso, no se pueden pasar por alto los niveles de ruido y de polución sonora observados en el resto de las líneas.

Entre las medidas que contribuirían a reducir la contaminación sonora en el interior de los vagones de los subtes, podrían citarse:

- Cambio de vagones por unidades más modernas, similares a las incorporadas en la línea A. Las mismas vienen equipadas con sistemas de aire acondicionado que permiten mantener las ventanillas cerradas, atenuando en el interior los ruidos electromecánicos y aerodinámicos propios del viaje.
- Revestimiento de las paredes de los túneles con materiales absorbentes del sonido, para reducir la energía reflejada que impacta en el subte.
- Reducción de la velocidad de aproximación de los trenes, para reducir el tiempo de aplicación de los frenos
- Revestimiento de paredes y techos de las estaciones de pasajeros con materiales absorbentes, o eventualmente instalación de paneles acústicos.
- Aumentar las campañas de concientización respecto al uso inadecuado de los sistemas reproductores de estéreo personal, especialmente en los medios de transporte público.

Referencias

Alexandre A, Barde J Ph, Lamure C, Langdon F J 1975 *Road traffic noise* (New York: Halsted)

Aly Mostafa 2004 Noise assessment inside the Greater Cairo Underground second-line Metro. *Sadhana* Vol 30, Part1 February 2005 pp 47-55

Don C G, Rees I G 1985 Road traffic sound level distributions. *J. Sound Vibr.* 100: 41-53

Hastings N A J, Peacock J B 1975 *Statistical distributions* (London: Butterworth)

HUD 1971 Noise assessment guidelines. US Department of Housing and Urban Development, BBN Report No. 2176, August

HUD1985 The noise guidebook. US Department of Housing and Urban Development, HUD953-DPC

Maschke C, Harder J 1998 Environmental medical action required on exposure to noise. *Gesundheitswesen* 60: 1103-1110

Metrovías S.A Sitio Web <http://www.metrovias.com.ar>

Nagat M A, Risk S A A 1995 study of non-auditory effects of industrial noise. *Med. J. Cairo Univ.* 63: 155-164

Nagat M A, Risk S A 2001 Study of the magnitude of environmental noise on pollutant in different sectors of indoor and outdoor. Final Report, 1/6/3/1/2 NRC

Savitz D A, Lio D, Sastre A, Kleckner R C 1999 Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *Am. J. Epidemiol.* 149: 135-142

Stansfeld F 1998 Loud but not yet clear. *Environ. Health Perspect.* :100-105