

medio ambiente acústico en el metro de santiago*

Jorge Lay G., Iván Milos M. y Ricardo Pesse L.**

RESUMEN: En este trabajo se analizan los niveles de ruido existentes en el metro de Santiago, tanto en banda ancha como en banda angosta. Se utilizan como cuantificadores L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{eq} y PSIL.

Los valores encontrados en L_{eq} , para un viaje típico en la línea 1, es de 86.2 dB (A) y en la línea 2 de 86.7 dB (A). Para L_{50} se obtuvo un valor de 80.3 dB (A) para ambas líneas; el ruido de fondo que se puede asociar a L_{95} es levemente superior a 70 dB (A).

Los climas de ruido obtenidos para un viaje típico en línea 1 y 2 resulta ser 20 dB (A) y 20.5 dB (A), respectivamente.

Los niveles encontrados para los distintos cuantificadores analizados, sobrepasan todos los límites recomendados.

SUMMARY: In this work the noise levels existing at "Metro de Santiago (subway)" are analyzed, both in wide and narrow bands. L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{eq} y PSIL are used as estimator parameters.

The L_{eq} values found for a typical journey in line 1 is 86.2 db (A) and in line 2 86.7 db (A). For L_{50} the measured value was 80.3 dB (A) for both lines. The background noise that can be associated with L_{95} is slightly higher than 70 dB (A).

The noise climate obtained for typical journey in lines 1 and 2 was found to be 20 dB (A) and 20.5 dB (A) respectively.

The levels found for the different estimators analyzed exceed all advisable limits.

* Manuscrito revisado y aprobado en forma definitiva en julio de 1981.

** Departamento de Física, Facultad de Ciencia, Universidad de Santiago de Chile (ex-Universidad Técnica del Estado).

1. INTRODUCCION

Esta investigación ha sido conducida con el objeto de conocer con fidelidad los niveles de ruido existentes en el interior de los vagones del ferrocarril subterráneo de la ciudad de Santiago.

Este medio de transporte, el más moderno del país en su tipo, es utilizado diariamente por alrededor de 500.000 personas, con el objeto de trasladarse en forma rápida y cómoda.

Su ampliación progresiva ha llevado a un aumento importante en el número de personas que utilizan sus servicios; es por ello de gran importancia conocer el nivel de ruido a que se encuentra expuesto un pasajero medio en su viaje diario.

Se ha considerado para tal efecto, que un pasajero medio hará un viaje de 10 estaciones (ocupando un lapso de tiempo de aproximadamente 10 minutos), en la línea 1 y de 10 estaciones en la línea 2, con aproximadamente el mismo lapso de tiempo.

Todas las mediciones se realizaron con una densidad media de pasajeros por carro (del orden de 60 a 100); no se realizaron mediciones con el tren con exceso de pasajeros o sin ellos.

2. METODOLOGIA Y CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

Con el objeto de evaluar el medio ambiente acústico de este tipo de transporte, se ha obtenido en banda ancha (sin filtros de frecuencia) con escala de ponderación A, los siguientes cuantificadores:

$$L_{eq} = 10 \text{ Log}_{10} \frac{1}{T} \int_0^T 10^{NS/10} dt,$$

donde NS es el nivel sonoro expresado en dB (A), y T el tiempo total de medición.

L_{10} Cuantificador de los niveles sonoros altos, aquellos que están sobre el nivel ambiente. Se obtiene de la distribución porcentual acumulativa y corresponde al percentil 10.

L_{50} Cuantificador del nivel sonoro medio. Se obtiene de la distribución porcentual acumulativa y corresponde a percentil 50.

L_{90}, L_{95} Cuantificadores de los niveles sonoros más bajos, corresponde a lo que normalmente se entiende por nivel ambiente. Se obtienen de la distribución porcentual acumulativa y están asociados a los percentiles 90 y 95, respectivamente.

Clima de ruido: ($L_{10} - L_{90}$).

Cada uno de estos cuantificadores se determinó en base a 6.000 muestras tomadas durante cada una de las mediciones de 10 minutos aproximadamente.

En banda angosta (octavas), se ha obtenido el Espectro de frecuencias, barriendo todo el espectro audible, con un período de muestreo de 1 seg.

Todas las mediciones se realizaron con ventanas cerradas, verificándose experimentalmente condiciones de campo semireverberante.

Para ello se determinó el tiempo de Reverberación, obteniéndose un valor de 0.70 seg., lo que conjuntamente con los parámetros, superficie y volumen interior del carro proporciona como constante R del recinto un valor de 19.4; esto implica que existen variaciones no significativas (menores que 0,5 dB) a partir de 0,7 metros de la fuente.

También se investigó las posibles diferencias entre los medios acústicos de los diferentes tipos de carros del tren.

Esta información nos permite discriminar algunos de los efectos que este ruido ejerce sobre el pasajero medio.

Toda la información en banda ancha se ha recogido directamente de un Analizador del Nivel Sonoro. La información en banda angosta se ha obtenido con un Registrador, implementado con la señal de un Medidor de Nivel Sonoro debidamente calibrado. Esto nos

permitió conocer las distribuciones del Nivel de Presión Sonora en dB, en nueve bandas de octava centradas en 31,5; 63; 125; 250; 500; 1.000; 2.000; 4.000 y 8.000 Hz.

De la distribución de NPS para cada octava se ha calculado L_{50} , el que se ha distribuido en frecuencia. A esta distribución de L_{50} en frecuencia, nosotros le denominamos "Espectro Típico"¹, del ruido de interés y permite visualizar algunas características interesantes; al mismo tiempo permite cuantificar algunos efectos importantes del ruido sobre el hombre.

Con la información recogida es posible la cuantificación de algunos índices importantes para conocer el grado de deterioro del medio ambiente. Tal es el caso del PSIL, cuantificador propuesto por ISO que permite calcular la distancia máxima a la que es posible comunicarse satisfactoriamente; también podemos citar los cambios temporales, permanentes o mixtos del umbral de audición, molestia y otros, tanto auditivos como extrauditivos.

3. EQUIPO UTILIZADO

Se ha utilizado en esta investigación un Registrador Gráfico Bruel y Kjaer tipo 2306, un Medidor de Nivel Sonoro Bruel y Kjaer tipo 2215, un Analizador de Nivel Sonoro Bruel y Kjaer tipo 4426 y un calibrador Bruel y Kjaer tipo 4230. Todo el equipo fue cuidadosamente calibrado antes de cada medición.

4. RESULTADOS

Se presenta a continuación, la información obtenida en banda ancha, con escala de ponderación (A) y en banda angosta (octavas) sin escala de peso.

LINEA 1

Se tomaron datos en el interior de dos carros, uno de arrastre y otro de tracción, con objeto de investigar las posibles diferencias entre ellos (el tren consta de dos tipos de carros, de tracción y de arrastre).

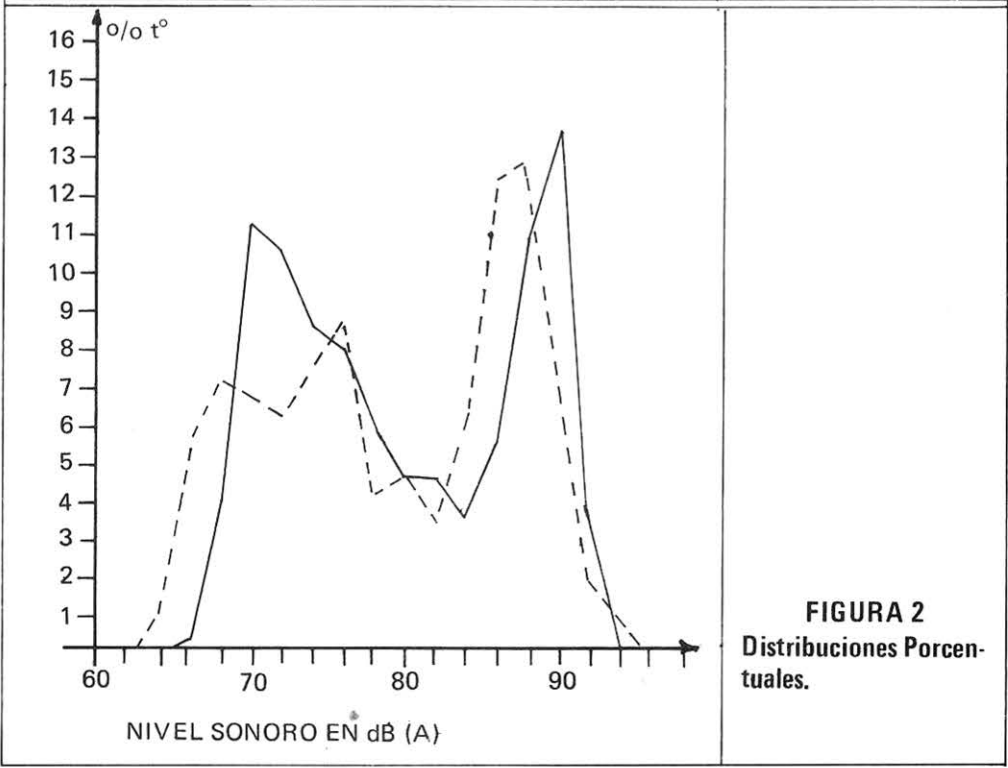
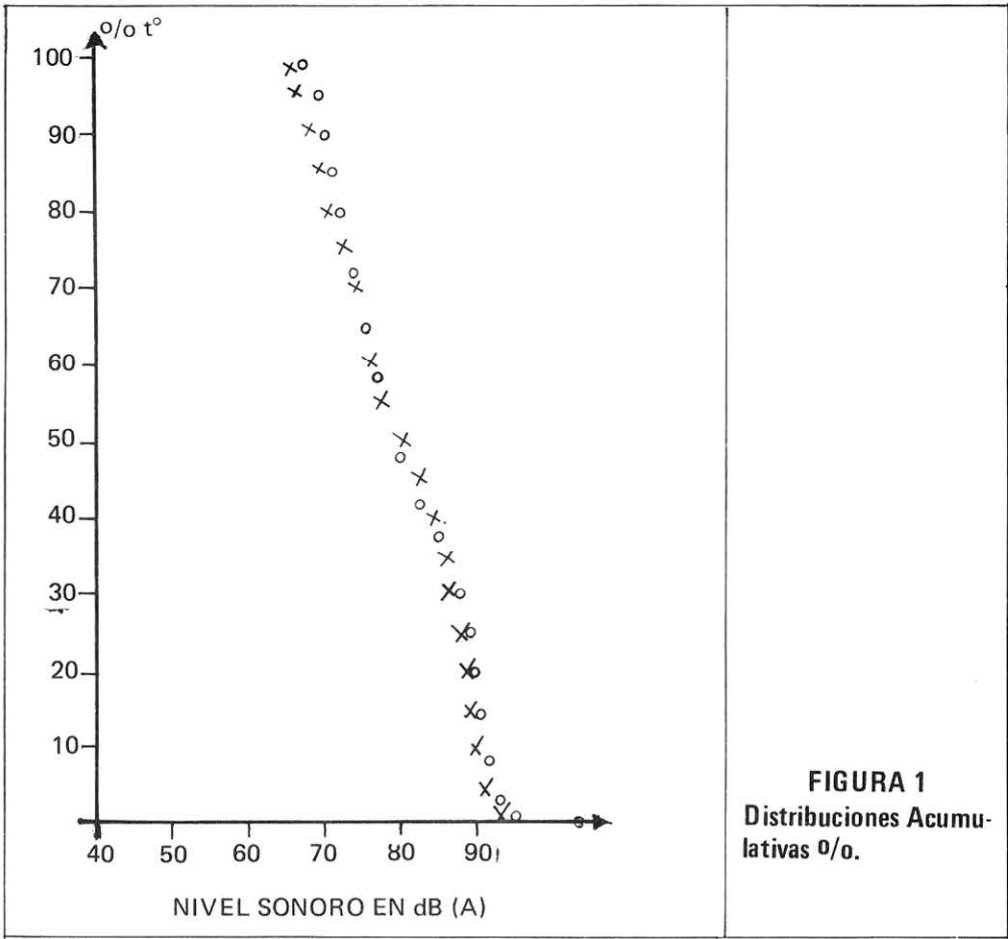
En la Fig. 1, se observan las respectivas distribuciones acumulativas porcentuales, mientras que en la Fig. 2 se han dibujado las distribuciones porcentuales del Nivel Sonoro. En la tabla 1 se presentan algunos parámetros importantes, tales como L_{eq} , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} y el Clima de Ruido, que viene representado por los respectivos valores de L_{10} y L_{90} .

Como se puede observar, ambas distribuciones acumulativas porcentuales del Nivel Sonoro son casi idénticas, excepto por una pequeña discrepancia para aquellos valores comprendidos entre L_{80} y L_{99} que son considerados como ruido de fondo.

Este es un resultado esperado, debido al aporte de los motores del carro de tracción en los instantes en que el tren está detenido, el que no existe en los carros de arrastre. Esto se ve con mayor facilidad en las distribuciones porcentuales, donde se observa que el carro de tracción tiene una distribución que se diferencia de la del de arrastre, sólo entre 68 y 74 dB presentando luego una marcada similitud. Sin embargo, la diferencia no es significativa en términos reales de exposición, como se puede apreciar en la tabla 1.

TABLA 1.

CARRO DE TRACCION		CARRO DE ARRASTRE	
	dB(A)		dB(A)
L_{eq}	86,2		85,4
L_{10}	91,0		90,0
L_{50}	80,3		80,0
L_{90}	71,0		68,5
L_{95}	70,3		67,0
"Clima de ruido" ($L_{10} - L_{90}$)	(91,0-71,0)		(90,0-68,5)



De esta tabla se pueden rescatar algunos comentarios que avalan lo anteriormente expuesto. Como se aprecia, no existe entre los dos tipos de carros ninguna diferencia significativa, salvo en L_{90} y especialmente en L_{95} , que es considerado como Ruido de Fondo por muchos autores. Sin embargo L_{eq} , que nos da el valor de un ruido de nivel continuo que tenga la misma energía acústica que el fluctuante que estudiamos, nos indica que ambas exposiciones no son diferentes en términos reales (mayores que 50/o).

En la tabla 2 se muestra la distribución de L_{50} en frecuencia, que se ha obtenido de la *distribución del NPS en cada octava*. La misma distribución se ha dibujado en la Fig. 3, graficando L_{50} en dB versus frecuencia central de cada octava, es decir, el “Espectro Típico” del ruido de los carros respectivos.

TABLA 2.

Frecuencia central (Hz)	Carro de Tracción L_{50} (dB)	Carro de Arrastre L_{50} (dB)
31,5	84,7	86,8
63	80,0	78,5
125	79,3	74,6
250	76,0	76,0
500	74,0	74,4
1K	73,1	71,8
2K	71,4	68,0
4K	64,1	60,0
8K	59,4	55,9

En la Fig. 3, se observa un análisis más fino del ruido en el interior de los carros; las curvas obtenidas nos revelan que no existen diferencias marcadas en la forma de ambos espectros, salvo alguna pequeña para bajas frecuencias. Sin embargo, ha de considerarse que no es bastante como para descartar que sea producto de la diferente densidad de pasajeros que viajaban en los respectivos carros.

Se observa una marcada tendencia a un pequeño aumento en el nivel para el carro de tracción, pero como ya hemos indicado anteriormente, no es significativo.

Ha de destacarse el gran predominio del aporte en bajas frecuencias, lo que es especialmente molesto. La ausencia de grandes aportes en frecuencias altas es debido a que el tren descansa sobre neumáticos de caucho en lugar de las tradicionales ruedas metálicas.

Con los valores encontrados en ambos carros se ha calculado PSIL (Preferred Speech Interference Level), que resultó ser 68,6 y 70,7, para los carros de arrastre y tracción respectivamente.

Esto significa que con voz normal es posible comunicarse inteligiblemente a sólo 0,2 m. en el carro de arrastre y a 0,1 m en el de tracción, mientras que gritando, sólo a 0,4 m en el de arrastre y a 0,2 en el de tracción.

LINEA 2

En la línea 1 investigamos si existía diferencia en el medio ambiente acústico de dos tipos de carros. La línea 2 presenta una gran diferencia con respecto a la línea 1, ya que cuenta con tres estaciones de superficie y siete subterráneas.

La casi totalidad de los pasajeros que transitan por la línea 2, lo hacen hacia la línea 1 (donde hacen transbordo) de modo que necesariamente viajan por la superficie durante el espacio comprendido entre las tres estaciones antes mencionadas. Es importante por ello discriminar dos clases de exposiciones. Una de ellas sólo durante el viaje de superficie (3 estaciones) y el otro, un viaje mixto, con tres de superficie y siete subterráneas, que equivale al del pasajero medio de la línea 1.

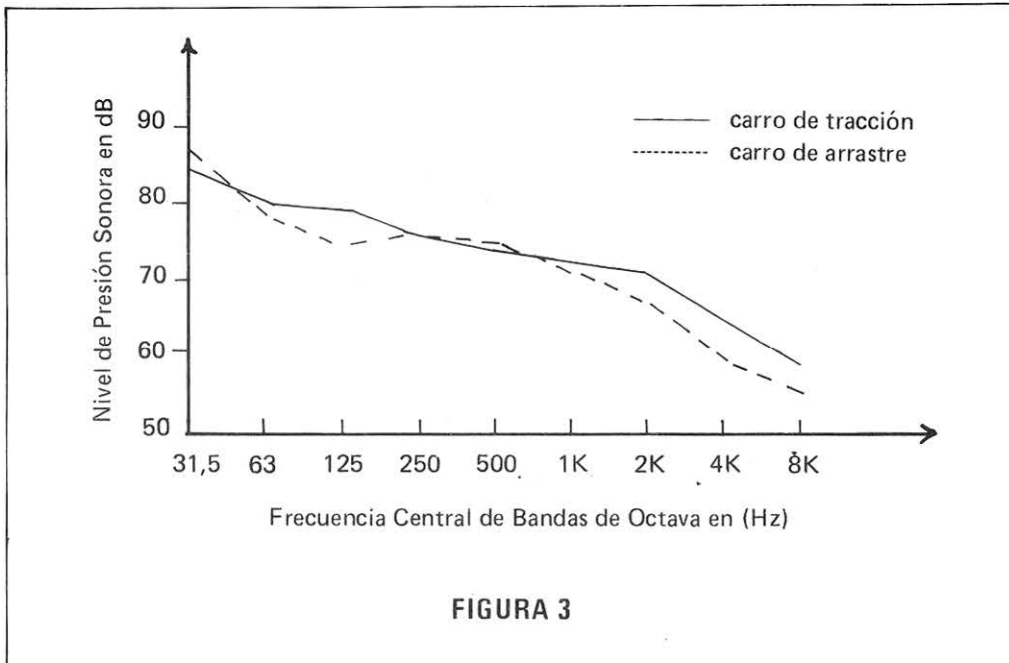


FIGURA 3

En esta línea se tomaron datos sólo en un carro de tracción; los resultados pueden verse a continuación.

Del mismo modo que en la línea 1, se pueden observar las distribuciones acumulativas porcentuales de los tramos abiertos y mixtos respectivamente en Fig. 4, mientras que en la Fig. 5 se pueden ver las distribuciones porcentuales del Nivel Sonoro. Luego, en la tabla 3, se han dispuesto los respectivos valores de L_{eq} , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} y el Clima de Ruido. Todos los valores están en dB (A).

En la Fig. 4 se puede observar que ambas distribuciones acumulativas porcentuales del nivel sonoro son idénticas desde L_{40} hasta L_{99} ; sin embargo, existe una gran discrepancia entre L_5 y L_{40} .

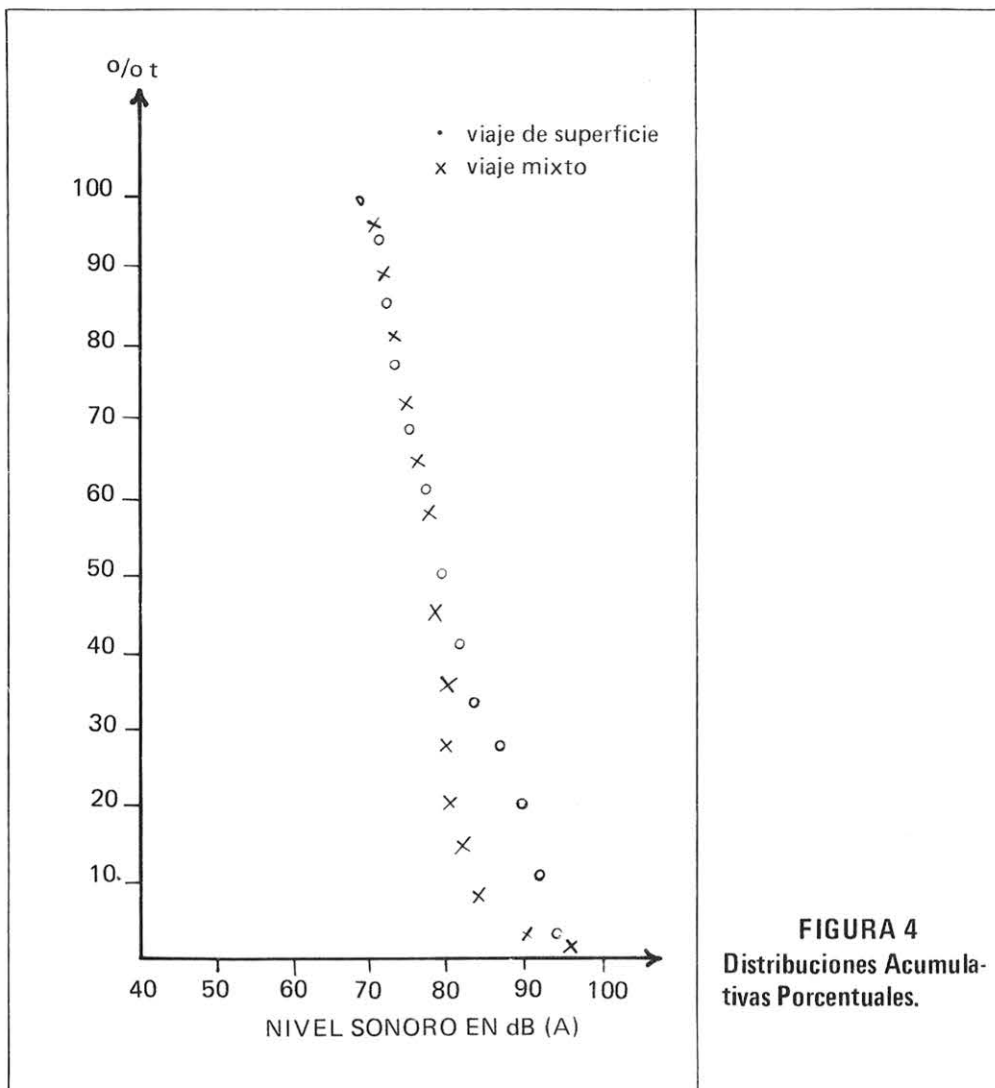
Se observa que hasta L_{40} , los niveles son mayores en el viaje mixto que en el de superficie, lo cual era de esperarse debido a que en los tramos subterráneos el nivel sonoro es bastante mayor que en los de superficie.

En Fig. 5 resulta claro que en el viaje de superficie, la mayor parte del tiempo el nivel estuvo bajo 82 dB (A) mientras que en el viaje mixto, el porcentaje de tiempo en que el nivel superó los 82 dB (A) es considerablemente menor. La diferencia entre ambos tipos de exposiciones se ve confirmada en la tabla 3.

TABLA 3.

	Viaje de Sup.	Viaje Mixto
	dB (A)	dB (A)
L_{eq}	81,9	86,7
L_{10}	82,8	92,3
L_{50}	78,8	80,3
L_{90}	72,5	71,8
L_{95}	71,3	70,5
Clima de ruido (L_{10} - L_{90})	(82,8-72,5)	(92,3-71,8)

Como era de esperarse, existe una diferencia considerable en L_{eq} y L_{95} , así como en L_{10} (la cota inferior del Clima de Ruido), permitiendo ser categórico en afirmar que una



exposición mixta es bastante mayor que una de superficie.

Del mismo modo que en la línea 1, se han calculado los L_{50} de la distribución de niveles de presión sonora en cada octava (tabla 4) y luego se han graficado versus su frecuencia central (Fig. 6); esto se ha hecho para el ruido característico de un viaje subterráneo (SUB) y para un viaje de superficie (SUP).

TABLA 4.

Frecuencia	SUP	SUB
Central (Hz)	L_{50} (dB)	L_{50} (dB)
31,5	83,3	82,5
63	81,6	82,7
125	73,6	79,0
250	72,9	81,3
500	74,6	80,4
1K	72,2	75,5
2K	70,5	75,6
4K	61,0	70,0
8K	52,5	58,3

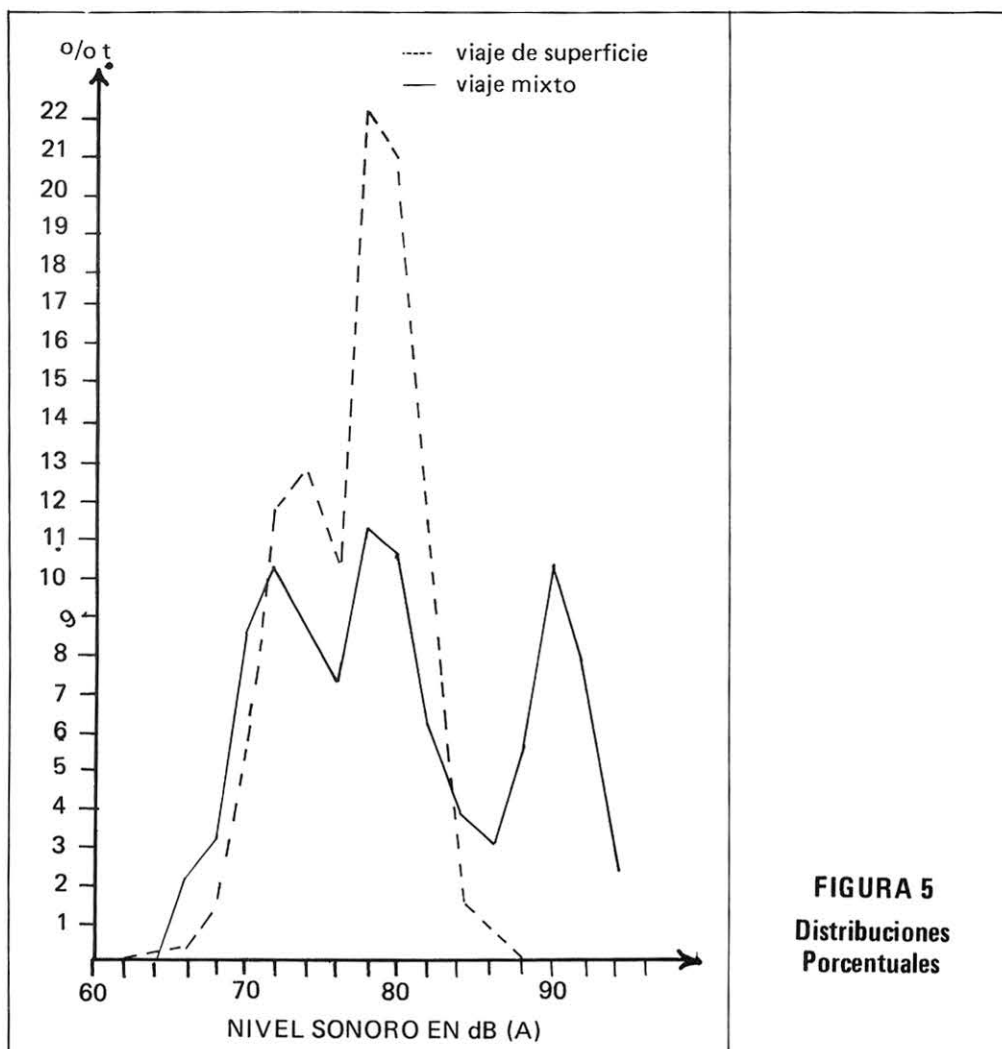


FIGURA 5
Distribuciones
Porcentuales

Aun cuando existe semejanza en forma (excepto en las dos primeras bandas), en nivel el espectro del ruido durante el viaje subterráneo es considerablemente mayor. La diferencia en la forma del espectro típico se debe a la resonancia producida en el túnel subterráneo.

El PSIL resultó ser 75,4 y 69,6 dB en los tramos subterráneos y de superficie respectivamente, es decir que no es inteligible a ninguna distancia una conversación en voz normal en el tramo subterráneo, mientras que en el tramo de superficie sólo es posible dentro de distancias menores que 0,13 m. Una conversación gritando, es inteligible sólo a 0,2 m en el tramo subterráneo y a sólo 0,26 m en el de superficie.

5. DISCUSION

En la tabla 5 se puede apreciar un resumen general de la información obtenida. Nótese que los valores obtenidos en la línea 2 para viajes mixtos, son muy similares a los de la línea 1; en la línea 2 también se considera un pasajero medio viajando durante diez estaciones, y las mediciones fueron realizadas en un carro de tracción. De modo que podemos concluir que un pasajero medio encontrará la misma exposición de ruido viajando en línea 1 o en línea 2.

Una simple ojeada a los valores obtenidos nos permiten concluir indiscutiblemente que el medio ambiente acústico en el interior de los vagones del Ferrocarril Subterráneo está altamente contaminado.

TABLA 5.

	Línea 1		Línea 2	
	Carro de Tracción	Carro de Arrastre	Superficie	Mixto
L_{eq}	86,2	85,4	81,9	86,7
$L_{1,0}$	91,0	90,0	82,8	92,3
$L_{5,0}$	80,3	80,0	78,8	80,3
$L_{9,0}$	71,0	68,5	72,5	71,8
$L_{9,5}$	70,3	67,0	71,3	70,5

Todos los valores están en dB (A).

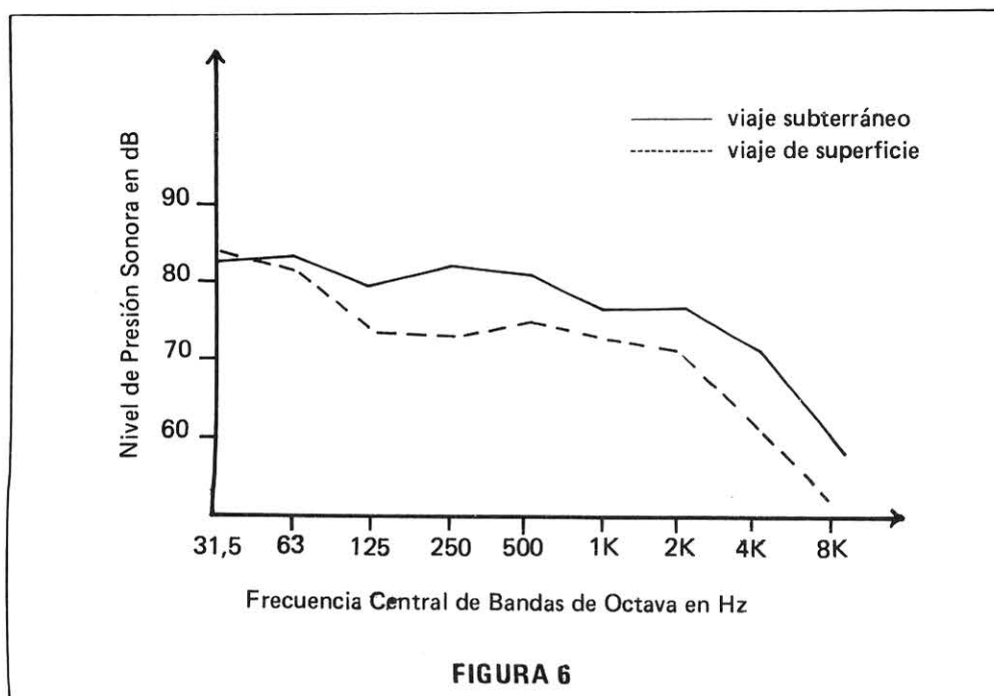


FIGURA 6

Se puede acotar por ejemplo, el criterio que determinaron Lippert y Miller con respecto a interiores de vehículos y trenes suburbanos. Ellos recomendaron un nivel máximo de 70 dB (A) para que no existan problemas de interferencia con la comunicación hablada, 62 dB (A) para mantener privacidad mínima, 40-50 dB (A) para ser posible el esfuerzo intelectual y 77 dB (A) para que no exista molestia. En general recomiendan como límite máximo 65-70 dB (A).

Existe aún otro problema, que dice relación con el impacto que esta exposición ejerce sobre el estado bioquímico general del organismo; existe evidencia importante de alteraciones en bases bioquímicas de personas expuestas a niveles de ruido como los encontrados aquí.^{2,3}

También dado el carácter espectral, según un criterio de daño fisiológico de la American Speech and Hearing Association, existe una pronunciada reacción vegetativa, la que se traduce en una serie de efectos psicósomáticos; evidentemente lo peligroso de estos cambios aumenta con el tiempo de exposición.

En cuanto a lo que dice relación con la interferencia con la comunicación hablada, al aplicar ISO R3352, es evidente que un ambiente que no la permita a más de 40 cm. con voz elevada, produce una virtual incomunicación.⁴

Se podría argüir en contra de la significación de los resultados antes expuestos, diciendo que la exposición de 10 o menos minutos dos veces al día, no es capaz de producir efectos nocivos en términos reales a los usuarios del ferrocarril subterráneo. Sin embargo, esta exposición no es la única que encuentra el individuo en su vida diaria, y puede ser peligrosa en el sentido de por ejemplo, acortar el tiempo que el oído necesita para recuperarse de un Cambio Temporal del Umbral de Audición (convirtiéndolo en permanente)⁵ luego de una ruidosa jornada de trabajo de 8 horas; o en el caso de proporcionar un desequilibrio, ya sea a nivel hormonal, bioquímico, cardíaco u otro^{6,7}, que conduzca a un problema bastante serio en personas con alteraciones de este tipo producto de otras causas, o incluso, quizás de exposiciones de ruidos anteriores.

Se constituye así esta exposición en un factor más de deterioro del ambiente al que diariamente estamos expuestos.

Recordemos que, como mencionamos anteriormente, son alrededor de 500.000 las personas que viajan en este medio de transporte, las que se espera aumentar considerablemente a mediano y largo plazo. De esta manera, podemos mencionarlo como un nuevo y moderno contaminante, que se suma a los ya existentes.

6. CONCLUSIONES

El medio ambiente acústico en el interior de los carros del Ferrocarril Subterráneo de la ciudad de Santiago está altamente contaminado, ya que se ha detectado que los niveles de ruido allí encontrados:

- a) No permiten la comunicación hablada, a no ser a viva voz y a menos de 40 cm. de distancia.
- b) Producen cambios bioquímicos y fisiológicos en la gente expuesta, aunque no podría asegurarse que estos cambios sean nocivos por sí mismos. Sin embargo, en personas con desequilibrios de este tipo pueden tener consecuencias más graves.
- c) Sobrepasan todos los límites recomendados por Lippert y Miller, es decir que no es posible el esfuerzo intelectual ni la comunicación hablada, ni la privacidad mínima; además es causa de molestia.

Es importante añadir que la exposición es muy similar en ambas líneas, y en ambos tipos de carros ya sea a tracción o de arrastre. No es así, sin embargo, en el tipo de viaje, ya que la exposición de ruido en un viaje de superficie es de menor nivel que un viaje subterráneo.

Es importante hacer hincapié en que la información recogida es de gran exactitud, debido a que se ha utilizado el más moderno instrumental y los procedimientos utilizados han sido los recomendados por ISO.

BIBLIOGRAFIA

1. LAY, J., MILOS, I. y PESSE, R., "Un análisis en bandas de octava del ruido característico del tránsito de vehículos motorizados en la ciudad de Santiago". Estudio presentado en el 14º Congreso Científico de la Sociedad Chilena de Física, 1980.
2. MILLER, J., "Effects of Noise on People". J. Acoust. Soc. Am., Vol. 56, 1974.
3. STEPHENS, D. and ROOD, G., "Handbook of Noise Assessment", 287 VNR, New York, 1978.
4. HASSALL, J. and ZAVERI, K., Acoustic Noise Measurements. 67-68, Bruel and Kjaer, Denmark, 1979.
5. WARD, W., "Temporary Threshold Shift in Males and Females". J. Acoust. Soc. Am. 40, 478-485, 1966.
6. TACCOLA, A., "Changes of the Cardiac Dynamics Induced by Noise". Lavoro Umano. 40, 571-579.
7. ROSEN, S., "Noise Hearing and Cardiovascular Function". Physiological Effects on Noise, Plenum Press, N.Y., U.S.A., 1970.